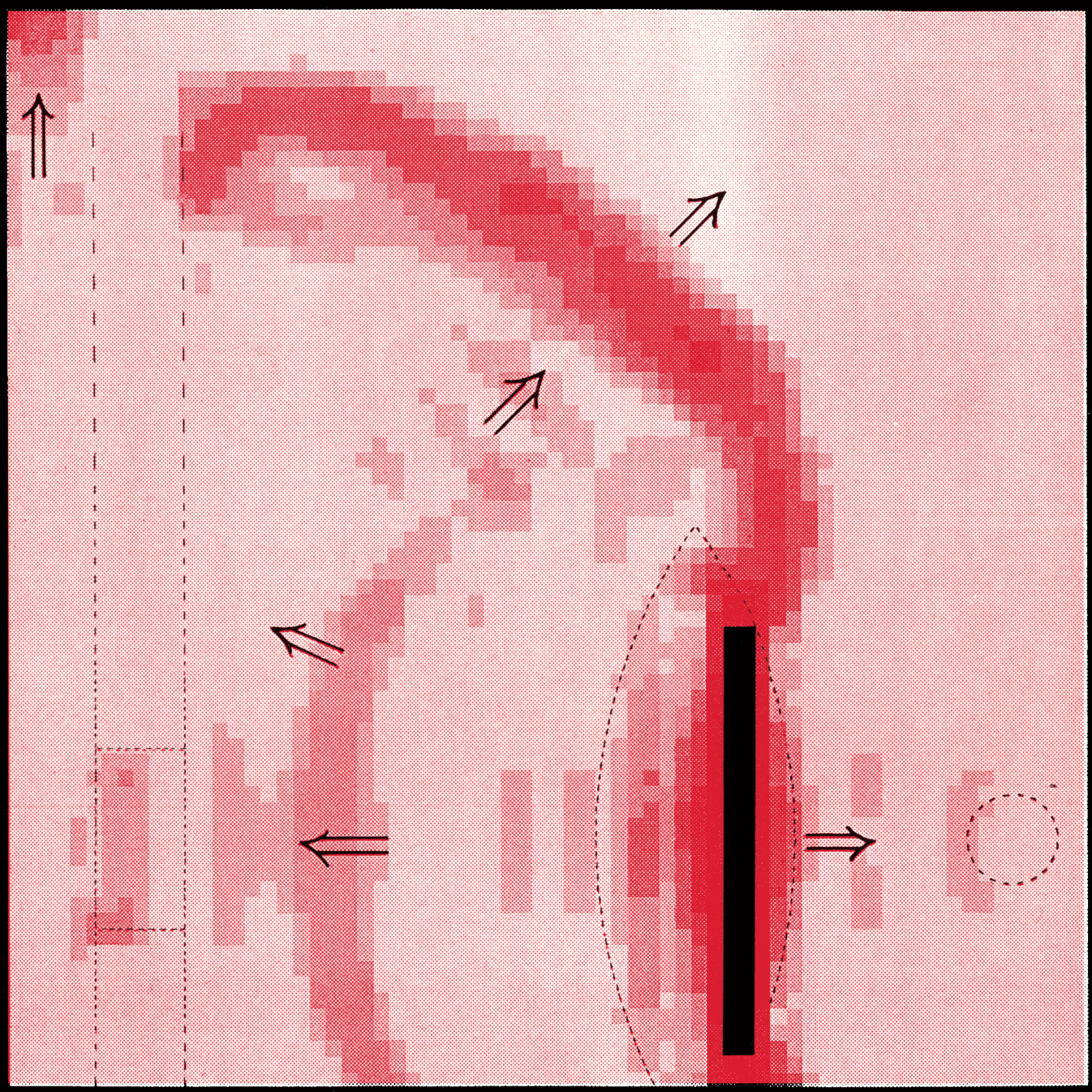
ELEKTRIE 5|90

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013–5399

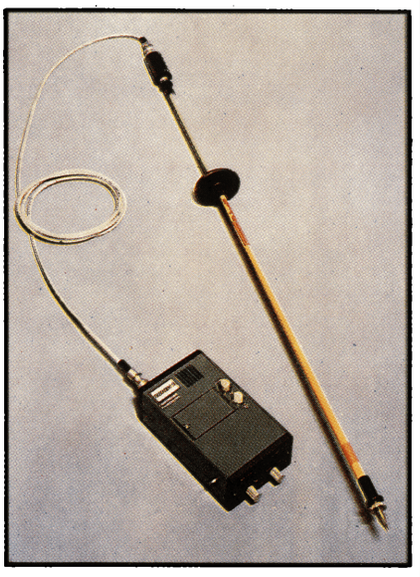


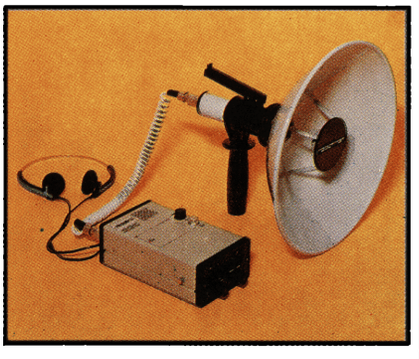
2D-Streufeld eines Pulses

Mehrfach Multipol-Programme zur numerischen Feldberechnung

0120235

Hochspannungsanlagen müssen sicher isoliert sein





Unsere Teilentladungssonden machen das Prüfen leicht.
Anwendergerechte Sets gestatten die Messung „vor Ort". ·
Ob Körperschall, Luftschall oder elektromagnetische Vorgänge, wir haben die richtige Ausrüstung.
Für den unkomplizierten Transport im handlichen Koffer.

„. . . ein anwenderfreundliches Gerät mit breitem Verwendungsspektrum . . . bei der Bewertung der TE-Intensität sehr gut für die Früherkennung von Störungsquellen geeignet".

Petrolchemisches Kombinat Schwedt

robotron
MESSELEKTRONIK

Wir beraten Sie gern

Robotron-Meßelektronik Dresden
Vertrieb – KVF
Postfach 211
Dresden
8012
Telefon: 4875431

5|90 ELEKTRIE

44. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr, sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. e. h. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G.Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Auf der Grundlage einer verallgemeinerten Multipoltechnik wurden an der ETH-Zürich MMP-(Mehrfach-Multpol-) Programme entwickelt.
Unser Bild zeigt die Momentaufnahme der Intensitätsaufteilung in einem 2D-Streufeld eines Pulses als Beispiel einer numerischen Feldberechnung für eine einfallende, ebene Pulswelle.

Siehe Beitrag auf den Seiten 165 bis 169.

VERLAG TECHNIK BERLIN

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 162

Altmann, S.

10 Jahre Applikationsforschung am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Leipzig 163

Fachaufsätze

Baggenstos, H.; Leuchtmann, P.

Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder mittels MMP-Programmen 165

Müller, M.

Berechnung des elektrischen Strömungsfeldes zur Projektierung von Anodenfeldern für den katodischen Korrosionsschutz in vermaschten Netzen 169

Junghans, H.

Anwendung klassischer Methoden der Feldtheorie für eine erste Bewertung feldverzerrender Einflußfaktoren des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen 171

Bochanky, L.

Entscheidungsproblematik in der Netztechnik 174

Herrmann, H.-J.; Stanimirov, M.

Digitale Schutztechnik im Elektroenergiesystem — Programmsystem zur Schutzalgorithmentestung 177

Ebel, D.

Moderne Verfahren der Instandsetzung und Eichung von Elektroenergiezählern 182

Schult, H.

Numerisches Stromwandlermodell mit schneller Konvergenz 185

Bräsel, E.; Musolff, D.

Untersuchungen zum Zeitverhalten von Gasen im Buchholz-Relais 187

Höhne, E.; v. Fournier, U.; Pfitzner, C.

Induktivität und Stromaufteilung von Wechselstromverbindungen hoher Stromstärke 189

Umschau

Fachtagungen 192

Patente 194

Aus anderen Zeitschriften 195

Bücher 197

AKTUELLE INFORMATION

REFA — Instandhaltungskonzept für die 90er Jahre

KDT-Fachtagung

Zeit: 12. und 13. Juli 1990
Ort: Magdeburg, Congress-Center
Veranstalter: Kammer der Technik, Bezirksverband Magdeburg

Wer den Strukturwandel in der Industrie jetzt erfolgreich bestehen will, Engpässe in der Produktion morgen vermeiden will, muß heute seine Instandhaltung darauf ausrichten.

Anfragen
KDT-Tagungsbüro
Brüderstraße 3
Stendal
DDR-3500
Tel.: Stendal 213034

Die Redaktion EK 4228

ENERGY '90

Moskau Messe

Zeit: 25. bis 30. Juni 1990
Ort: Moskau

Inhaltliche Schwerpunkte
— Primärenergiegewinnung
— Energieerzeugung
— Energieverteilung
— Energieeinsparung
— Umwelttechnik

Anfragen
Glahe International KG
Organisation und Durchführung
Herler Straße 103—109
D-5000 Köln 80

Die Redaktion EK 4238

PEMC '90

6th Conference on Power Electronics and Motion Control

Zeit: 1. bis 3. Oktober 1990
Ort: Budapest
Veranstalter: Hungarian Electrotechnical Association un d Association of Polish Electrical Engineers

The Hungarian Electrotechnical Association organized five Conferences on Power Electronics between 1970 and 1985. These series will be continued with this, the 6th conference, which will be organized by the Hungarian Electrotechnical Association together with the Association of Polish Electrical Engineers under the new title „Conference on Power Electronics and Motion Control".

Topics

Power Semiconductor Devices
— Power switching devices and modules
— Integrated power and signal electronic modules
— Smart power devices
— Semiconductor technology
— Control and protection of semiconductor modules

Power Converters and Inverters
— Circuitry
— Theory, mathematical and computer modelling
— Influence on supply and loads

Control and Signal Processing
— Methods, algorithms, theory
— Analogues and digital control equipments
— User friendly control, handling and protection
— Interfaces between power and signal electronics
— RFI, EMI, EMC problems

Motion Control
— Control problems of AC and DC drives
— Drive systems for industrial, machine tools, traction and domestic applications
— Motors and converters of special electrics drives
— Stepping, linear, brushless and reluctance motor systems
— Multi-motor drives in robot systems, rolling mills and in paper, textile and printing industry
— New trends in motion control design
— Theoretical problems

Power Supplies
— Linear and switching power supply
— Buck, boost, b&b, forward, flyback and Cuk converters
— Resonant converters
— Zero current or voltage switched-mode quasi-resonant converters

System Engineering
— Reliability
— Monitoring
— Diagnostics
— Expert systems
— Teaching methods

Applications
— Uninterruptible power supplies
— Reactive power compensators
— Generator excitation systems, engine testing banks
— Inductive heating
— Medical and *X*-ray equipments
— HVDC transmission
— Solar applications

Miscellaneous

At the conference it will be possible to exhibit smaller objects and to show videofilms (PAL/SECAM) connected to the topics. Authors who are interested in such exhibits should enclose a detailed description of the object to be exhibited with exact information about its dimensions, necessary functional requirements (power, current, noise, pollution, etc.) and possibly a colour photograph.

Anfragen
Dr. *Peter Matyar*
PEMC '90 Secretariat
Technical University of Budapest
Department of Automation
POB 91
H-1502 BUDAPEST, Hungary
Phone: (int) 361-812-191
Telex: 225931 muegy h
Fax: (int) 361-666-808

Die Redaktion EK 4180

Fachtagung für das Elektrofachpersonal in Klein- und Mittelbetrieben

Zeit: 9. Oktober 1990
Ort: Halle
Veranstalter: Kammer der Technik, Bezirksverband Halle

Inhaltliche Schwerpunkte
— Fachliche Anleitung
— Diskussion zu aktuellen Problemen
— Erfahrungsaustausch für verantwortliche Fachleute der Klein- und Mittelbetriebe
— Revisionsrichtlinie für elektrotechnische Anlagen und Betriebsmittel mit Nennspannungen bis 1000 V Wechselspannung oder 1500 V Gleichspannung

Anfragen
Kammer der Technik
Bezirksverband Halle
Geschwister-Scholl-Straße 39
Postschließfach 119
Halle
4060

Die Redaktion EK 4130

Sicherer und wirtschaftlicher Betrieb, Rekonstruktion von Kernkraftwerken

XXII. Kraftwerkstechnisches Kolloquium

Zeit: 16. und 17. Oktober 1990
Ort: Dresden
Plenar- und Festsaal des Dresdner Rathauses

Veranstalter:
Die Sektion Energieumwandlung der Technischen Universität Dresden veranstaltet gemeinsam mit dem Rat des Forschungsprogrammes „Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der Energiewirtschaft" den wissenschaftlichen Sektionen Kernenergie und Elektroenergie der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Energiewirtschaft der KDT und dem Industriezweigaktiv Kraftwerksanlagenbau der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte
— Erfahrungen bei Errichtung und Betrieb von Kernkraftwerken
— moderne Aspekte der nuklearen Sicherheit der Kernkraftwerke einschließlich der erforderlichen Versuchseinrichtungen
— Erfahrungen aus der Rekonstruktion und Konzeptionen für die Rekonstruktion von Kernkraftwerken
— Meß- und Diagnosesysteme für Kernkraftwerke und
— Aus- und Weiterbildung von Kernkraftwerkspersonal.

Anfragen
Technische Universität Dresden
Sektion Energieumwandlung
AG Kraftwerkstechnik
Mommsenstraße 13
Dresden
DDR-8027
Telefon: 463 5308

Die Redaktion EK 4184

10 Jahre Applikationsforschung am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Leipzig

Von

Prof. Dr. sc. techn. Siegfried Altmann

Direktor der Sektion Elektroenergieanlagen und Inhaber des Lehrstuhles Grundlagen der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Leipzig

Seit Gründung des Lehrstuhles Grundlagen der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Leipzig im September 1979 wurde in den ersten Jahren vorwiegend auf dem Gebiet der quantitativen Bewertung der „Elektrosicherheit" elektrotechnischer Anlagen geforscht. Diese Arbeiten erfolgten hauptsächlich im Auftrage des Instituts Prüffeld und Hochleistungstechnik (IPH) Berlin (Institutsdirektor Prof. Dr.-Ing. Hänisch). Ein wesentliches Gesamtergebnis in der Verallgemeinerung ist, daß eine Bewertung der „Elektrosicherheit" für alle Phasen des Reproduktionsprozesses erfolgen kann, und zwar auf der Grundlage „objektiver" und „subjektiver" Wahrscheinlichkeiten. Ergebnisse, erzielt auf der Basis „subjektiver" Wahrscheinlichkeiten, können u.a. im mathematischen Ansatz und in ihrer Aussage unter Nutzung der Cluster- und Pfadanalyse objektiviert werden. Die bisher erzielten Ergebnisse wurden auf Kolloquien des Lehrstuhles zur Diskussion gestellt (siehe Hefte 4/80, 6/82, 9/85 der Fachzeitschrift ELEKTRIE sowie Heft 9/88 der Wiss. Ber. TH Leipzig).

Parallelarbeiten dazu erfolgten und erfolgen auf dem Gebiet der Entwicklung von Spannungswarngeräten für verschiedene Anwendungsgebiete. Dazu war es notwendig, zunächst umfangreiche feldtheoretische Untersuchungen durchzuführen. Über den derzeitigen Wissensstand wurde anläßlich der 4. Wissenschaftlichen Konferenz der Sektion Elektroenergieanlagen im Oktober 1989 informiert.

Ein weiterer Beitrag ist im vorliegenden Heft abgedruckt (Verfasser: Dipl.-Ing. Junghans). Auftraggeber dieser Arbeiten sind das Kombinat TAKRAF und das Hoch- und Tiefbaukombinat Leipzig.

Beide genannten Forschungsgebiete waren Hauptgegenstand des 5. Lehrstuhlkolloquiums anläßlich des 10jährigen Bestehens des Lehrstuhles. Diese Veranstaltung war gekoppelt mit der bereits erwähnten 4. Wissenschaftlichen Konferenz der Sektion Elektroenergieanlagen der TH Leipzig.

Folgende Themen standen zur Diskussion, vorwiegend vorgetragen von Nachwuchswissenschaftlern und Aspiranten des Lehrstuhles sowie den Partnern der polnischen Hochschule in Wroclaw, Poznan und Czestochowa.

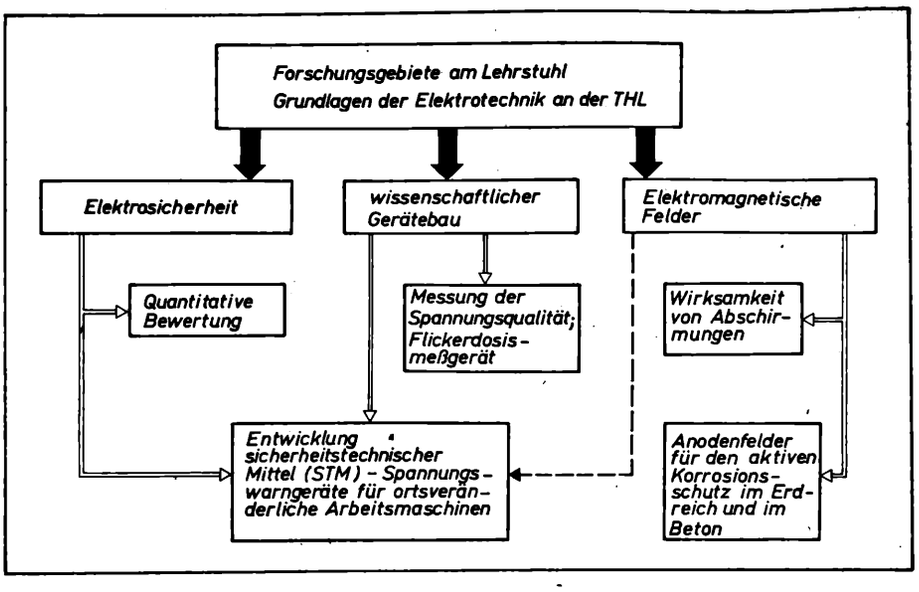
- Sicherheitsbewertung von Kernkraftwerken
- Methode und Anwendung von probabilistischen Sicherheitsanalysen — PSA
- Identifikation von magnetischen Feldern unter dem Aspekt der durch sie hervorgerufenen Wirkungen auf lebende Organismen
- Feldberechnungen von Mehrleiter-Freileitungssystemen mittels BC — Modellbildung
- Weiterentwickelte Feldaufnehmer für Spannungswarngeräte
- Erprobungsergebnisse eines Feldstärke-Meßgerätes unter realen Einsatzbedingungen
- Studie über feldverzerrende Einflußfaktoren
- Warngeräte für Arbeiten unter spannungsführenden Fahrleitungen der Nahverkehrsbetriebe der DDR
- Magnetfeld-Sensoren für Spannungswarngeräte
- Nachweis für Elektroenergiequalität durch Flickermessung
- Absorptions- und Reflexionsverluste für die Flachabschirmungen, die aus amorphen und konventionellen Materialien angefertigt wurden
- Untersuchungen zur Erkennbarkeit von Freileitungssystemen mittels Infrarot-Meßtechnik
- Nichtkonventionelle Materialien für magnetische Abschirmungen im ständigen Magnetfeld

Die Veröffentlichung dieser Beiträge erfolgte im Heft 16/1989 der Wissenschaftlichen Berichte der TH Leipzig. Im September des vergangenen Jahres war Herr Prof. Baggenstos vom Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenztechnik der ETH Zürich für eine Woche akademischer Gast am Lehrstuhl. Das seinem Vortrag gewidmete Lehrstuhlkolloquium, eingeladen waren dazu alle Feldtheoretiker der DDR-Hochschulen und Universitäten, stand unter der Thematik „Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder mittels MMP-Programme".

Es handelt sich um ein an seinem Lehrstuhl entwickeltes Berechnungsverfahren. Auch auf Wunsch der anwesenden Vertreter der Universitäten und Technischen Hochschulen wurde dieser Vortrag im vorliegenden Heft abgedruckt.

Ein weiterer Beitrag ist dem katodischen Korrosionsschutz gewidmet (Verfasser: Dipl.-Ing. Müller). Es handelt sich um ein neu aufgenommenes Forschungsgebiet im Auftrage des Brennstoffinstituts Freiberg, Außenstelle Leipzig im Institut für Energetik. Stahlbewehrungen in intaktem Beton behalten viel Jahrzehnte ihre Funktionstüchtigkeit. Dringt jedoch Salzwasser, z.B. durch Tausalz, in den Beton ein, kann der Stahl rosten. Auch eine Karbonatisierung des Betons durch das Kohlendioxid der Luft begünstigt bei einer nur geringen Überdeckung des Stahls das Rosten der Armierung.

Bild 1. Forschungsprofil



Um ein Fortschreiten der Rostbildung an bereits angegriffenen Betonbauten aufzuhalten, können unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Der katodische Korrosionsschutz hat sich hier als wirksames und einfach durchzuführendes Verfahren bewährt, das ein weiteres Rosten zuverlässig verhindert. Alte Schäden können — sofern sie statisch unbedenklich sind — weitgehend belassen bleiben. Neue Schäden treten nicht mehr auf. Durch den Wegfall aufwendiger Betonarbeiten sind im Einzelfall daher auch Kosteneinsparungen gegenüber herkömmlichen Instandsetzungsverfahren möglich. Der Wert der Betonbauten, die zur Zeit z.B. in der Bundesrepublik Deutschland zur Sanierung anstehen, beträgt viele Milliarden DM.

Einen Gesamtüberblick über das Forschungsprofil vermitteln Bild 1 und Tafel 1.

Zu erwähnen ist, daß die begonnenen Forschungsarbeiten auf Teilgebieten der Kernkraftwerkssicherheit in Kooperation erfolgen mit dem Institut für Atomsicherheit und Strahlenschutz Berlin und die auf dem Gebiet der Messung der Spannungsqualität (Flickerdosismeßgerät) mit der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik in Verbindung mit dem Fachausschuß „Spannungsqualität" der KDT (Hochschuldozent Dr. sc. techn. G. Winkler).

Mit der Einführung der neuen Ausbildungsdokumente sind zwei fakultative bzw. wahlobligatorische Lehrveranstaltungen zur Forschungsproblematik geplant mit folgenden Schwerpunkten:

A. Theorie und Technik der „Elektrosicherheit"

1. Allgemeine Grundlagen der Elektrosicherheit
2. Schutzmaßnahmen im Niederspannungsbereich
3. Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV-Berechnung und Ausführung
4. Schutzmaßnahmen für spezielle Anwendungsfälle
5. Sicherheitsabstände und deren Berechnung
6. Blitzschutz
7. Schutz gegen kapazitive und induktive Beeinflussung beim Arbeiten an Anlagen in der Nähe elektrischer Anlagen
8. Arbeiten unter Spannung
9. Elektrostatische Aufladungen aus der Sicht des Arbeitsschutzes
10. Quantitative Bewertung der Elektrosicherheit
11. Der Sicherheitsnachweis und das Sicherheitsgutachten
12. Sofortmaßnahmen und Behandlung bei Unfällen durch elektrischen Strom

B. Elektrochemischer Korrosionsschutz — Katodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton und im Erdreich

1. Chemische und elektrochemische Grundlagen des katodischen Korrosionsschutzes
2. Theoretische Grundlagen der Streustromkorrosion
3. Beeinflussung von längsleitfähigen Rohrleitungen durch Hochspannungsanlagen
4. Spezielle elektrische Meßtechnik beim katodischen Korrosionsschutz
5. Praxis des katodischen Korrosionsschutzes einschließlich Laborpraktikum
6. Spezielle Probleme — im Ergebnis applikativer Forschung — Doktoranden haben das Wort

Beide Vorlesungsprogramme sind auch als Weiterbildungsveranstaltungen gedacht.

Tafel 1. Abgeschlossene Dissertationen

A-Dissertationen

Lange, P.: Verfahren zur quantitativen Bewertung der Elektrosicherheit beim Betreiben von Elektroenergieanlagen (1981)

Heide, K.: Zur wissenschaftlichen Strategie der Sicherheitsbewertung elektrotechnischer Anlagen in der Phase der Projektierung (1984)

Schlayer, D.: Ein Beitrag zur Entwicklung von Spannungswarngeräten (1984)

Trommer, K.-H. und Hanke, L.: Untersuchungen zur Analyse der Standhaftigkeit, Strategie und Technologie der Montageprozesse bei der Wiederinstandsetzung von Elektroenergieverteilungsanlagen in einem territorialen Energiekombinat (1985)

Obojski, J.: Strukturfindung des hierachischen Bewertungsschemas für die qualimetrische Bestimmung der Elektrosicherheit unter Verwendung der Clusteranalyse (1986)

Krüger, C.: Pfadanalyse als Methode zur quantitativen Sicherheitsbewertung elektrotechnischer Anlagen (1988)

Weigt, A.: Sicherheitstechnische Bewertung technologischer Prozesse in der Fertigung des Elektroenergieanlagenbaues (1988)

B-Dissertationen

Kieltyka, L.: Anwendung der direkten Methode der Funktionalanalyse zu Betrachtungen der Wirksamkeit von Abschirmungen magnetischer und elektromagnetischer Felder (1989)

EA 4156

Antriebstechnik von ZEISS JENA

Antriebselektronik für geregelte Gleichstrommotoren löst Ihre Positionieraufgaben bis in den Nanometerbereich durch

- **leistungsfähige Hardware**
- **hohe Präzision durch digitale Regler**
- **flexible Software zur Anpassung an den Anwendungsfall**
- **Standard-Schnittstellen für Meßsysteme und Steuerungen**

CARL ZEISS JENA

Kombinat
VEB Carl Zeiss JENA
Carl-Zeiss-Str.1
Jena
DDR-6900
*

Anfragen an: Abt. WEF 3 Telefon: 83 2438

Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder mittels MMP-Programmen[1)]

H. Baggenstos; P. Leuchtmann; Zürich, Schweiz

Die an der ETH-Zürich entwickelten MMP-(Mehrfach Multipol)-Programme basieren auf einer verallgemeinerten Multipoltechnik (GMT), die sich kurz wie folgt umschreiben läßt:

1. In den Feldgebieten werden die Feldgrößen mittels Funktionen beschrieben, die die Feldgleichungen exakt erfüllen.
2. Auf den Gebietsrändern werden die Anpassungsfehler numerisch unter Benutzung überbestimmter Gleichungssysteme minimiert.

Im folgenden Beitrag werden die MMP-Programme beschrieben und an Beispielen numerische Feldberechnungen dargestellt.

1. Feldmodell

Gegeben seien n Feldgebiete G_i ($i = 1, \ldots n$). Jedes Feldgebiet G_i sei homogen, linear und isotrop, also durch drei Parameter ε_i, μ_i und σ_i zu beschreiben, G_i kann auch offen sein. Die Übergänge ∂G_{ij} werden als abrupt angenommen (Bild 1).

1.1. Feldgleichungen

Unter Annahme zeitharmonischer Verläufe ist es bequem, mit komplexen Größen zu arbeiten. Die primären[2)] Feldgrößen F_{1i} in G_i erfüllen dann die inhomogene skalare Helmholtzgleichung

$$(\Delta + k^2_i)\, F_{1i} = -\, g_{1i} \tag{1}$$

$k_i^2 = \omega^2 \mu_i \varepsilon_i + i\,\omega\,\mu_i \sigma_i \cdot F_{1i}$ eine der beiden primären Feldgrößen.

Meist werden E_i und H_i als primäre Feldgrößen verwendet, wenn

$$F_{1i} = E_i = \vec{e}_E \vec{E}_i;\quad F_{2i} = H_i = \vec{e}_H H_i .$$

Die gewünschten sekundären Feldgrößen lassen sich dann aus den Maxwell-Gleichungen bestimmen.

1.2. Stetigkeitsbedingungen an den Übergangsflächen

An den Übergangsflächen haben die Tangentialkomponenten die Bedingungen

$$E_{ti} - E_{tj} = 0;\quad H_{ti} - H_{tj} = \alpha_{ij} \tag{2}$$

und die Normalkomponenten die Bedingungen

$$\varepsilon_i E_{ni} - \varepsilon_j E_{nj} = \sigma_{ij};\quad \mu_i H_{ti} - \mu_j H_{tj} = 0 \tag{3}$$

zu erfüllen. Dies ist ein System abhängiger Gleichungen.

1.3. Multipol-Funktionen

Die primäre Feldgröße F_{1i} in G_i kann durch einen Satz von Funktionen

$$F_{1i} = F_{1i0} + \sum_{k=1}^{N_i} A_{1ik} f_{1ik} \tag{4}$$

beschrieben werden, wobei

F_{1i0} eine spezielle, physikalisch interessante Funktion ist, die die inhomogene Feldgleichung erfüllt;

f_{1ik}-Funktionen sind die, die homogene Feldgleichungen erfüllen;

A_{1ik} noch zu bestimmende Koeffizienten sind.

Dieser Satz von Funktionen braucht nicht vollständig im mathematischen Sinne zu sein. Es genügt, wenn er das Verhalten der Feldgrößen im speziell vorliegenden Problem hinreichend genau beschreibt [1] [4] [5] [17].

Durch Einsetzen der Entwicklungsfunktionen f_{1ik} in die Stetigkeitsbedingungen (2) (3) an den sogenannten Matchingpunkten der Übergangsflächen läßt sich ein lineares Gleichungssystem zur Bestimmung der Koeffizienten A_{1ik} gewinnen [4].

Unter Verwendung von Polarkoordinaten p, φ bei zweidimensionalen Gebieten ($2D$) und von Kugelkoordinaten r, Θ, φ bei dreidimensionalen Gebieten ($3D$) findet man durch Trennung der Variablen (neben seltener gebrauchten) die folgenden Funktionen:

Statik	$2D$	$3D$
$n = 0$	$\ln p$	$\frac{1}{r}$
$n > 0$, $0 \leqq m \leqq n$	$\frac{1}{p^n} \begin{matrix}\cos \\ \sin\end{matrix} n\varphi$	$\frac{1}{r^{n+1}} P_n^m(\cos\nu) \begin{matrix}\cos \\ \sin\end{matrix} m\varphi$

(5)

Dynamik	$2D$	$3D$
$n = 0$	$H_0^{(1)}(k\,p)$	$h_0^{(1)}(k\,r)$
$n > 0$, $0 \leqq m \leqq n$	$H_n^{(1)}(k\,p) \begin{matrix}\cos \\ \sin\end{matrix} n\varphi$	$h_n^{(1)}(k\,r)\, P_n^m(\cos\nu) \begin{matrix}\cos \\ \sin\end{matrix} m\varphi$

(6)

P_n^m Assozierte Legendrefunktionen
$H_n^{(1)}$ Hankelfunktionen erster Art
$h_n^{(1)}$ Sphärische Hankelfunktionen erster Art

All diese Funktionen weisen im Koordinatenursprung eine Singularität auf und man bezeichnet sie deshalb als Multifunktionen oder einfach Multipole. Für $n = 0$ spricht man von Monopolen, für $n = 1$ von Dipolen.

Der Wirkungsbereich dieser Multipole ist auf ihre unmittelbare Umgebung beschränkt, so daß die Lage dieser Singularitäten von großer Wichtigkeit ist. In den allermeisten Fällen verwendet man mehrere Koordinatensysteme, d.h. mehrere Multipole zur Beschreibung des Feldes in einem Feldgebiet. Alle diese Multipole müssen natürlich außerhalb des Feldgebietes angeordnet werden.

1.4. Wirkbereich und Polsetzungsregeln

Zu betrachten sind die Wirkbereiche in der Umgebung der Übergangsflächen ∂G_{ij}, da dort die Koeffizienten A_{1ik} in (4) mit Hilfe der Übergangsbedingungen bestimmt werden (Bild 2).

Der Wirkbereich W_h des Multipoles in O_h ist begrenzt:

- Durch einen Kreis (Kugel) um O_h mit Radius $d_{h\,min} < d_h < d_{h\,max}$ wobei $d_{h\,max}/d_{h\,min} < 1{,}4 \cdot d_{h\,min}$ ist der kürzeste Abstand von O_h zur Grenze ∂G_{ij}.
- Die Anzahl der zum Multipol O_h gehörigen Koeffizienten A_{ik} sollte die Anzahl der im Wirkbereich von O_h angesetzten Übergangsbedingungen um mindestens einen Faktor zwei unterschreiten.
- Der Abstand $D_{h;\,h+1}$ zwischen benachbarten Multipolen sollte größer sein als $d_{h\,max}$ und $d_{h+1\,max}$.

Diese Regeln basieren auf Erfahrung. Sie sind nicht streng verifizierbar, aber ermöglichen die Wahl von hinreichend unabhängigen Multipolen.

Für $2D$-Anwendungen existieren MMP-Programme mit automatisierter Polsetzung [3] [5] [17]. Sonst sind die Programme so angelegt, daß Polsetzungskorrekturen anhand der Fehler an den Übergangsflächen leicht durchzuführen sind.

1.5. Überbestimmte Gleichungssysteme an den Übergangsflächen

Beträgt die Zahl der zu bestimmenden Koeffizienten N, so genügt zu deren Bestimmung eine entsprechende Zahl Matchingpunkte (mit je 1 bis 6 skalaren Gleichungen). Werden genau gleichviele Gleichungen aufgestellt wie es Unbekannte gibt, sind diese Bedingungen in den Matchingpunkten zwar erfüllt, nicht unbedingt aber dazwischen. Die Erfahrung lehrt, daß es besser ist, weniger Unbekannte anzusetzen und somit überbestimmte Gleichungssysteme zu verwenden. Damit wird der mittlere Fehler auf dem ganzen Rand kleiner [4] [6]. In der Praxis werden 2—6fach überbestimmte Gleichungssysteme verwendet.

Neben der Polwahl, d.h. der Wahl der Entwicklungsfunktionen, spielt die Art der Lösung des Gleichungssystemes eine zentrale Rolle. Wichtig sind

Prof. *H. Baggenstos* ist ordentlicher Professor an der ETH Zürich (Schweiz), Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenztechnik; Dr. *Leuchtmann* ist akademischer Mitarbeiter an der gleichen Einrichtung, Lehrstuhl Prof. *Baggenstos*.

[1)] Vortrag von Feldtheoretikern der DDR anläßlich eines Arbeitsbesuches von Prof. *Baggenstos* an der TH Leipzig, Sektion Elektroenergieanlagen, Lehrstuhl Prof. *Altmann*, im September 1989.

[2)] Primär heißen jene Feldgrößen, die direkt in eine Reihe entwickelt werden, sekundär heißen alle übrigen, die sich mit linearen Operationen aus den primären Feldgrößen ableiten lassen. Unter unseren Voraussetzungen genügen zwei primäre (skalare) Feldgrößen [4].

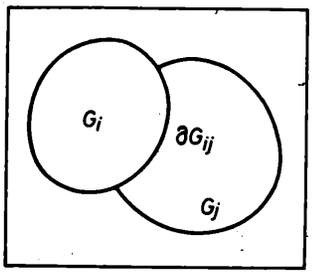


Bild 1. n Feldgebiete G_i mit Grenzen ∂G_{ij}

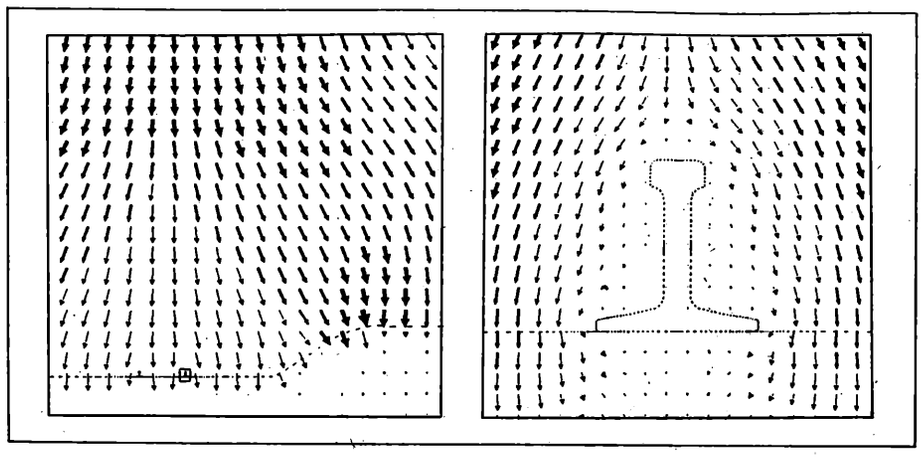


Bild 3. 2D-Streufeld einer Eisenbahnschiene ▲
Eine Eisenbahnschiene wird von einer von oben einfallenden ebenen Welle ($\lambda = 22$ m), welche senkrecht zur Zeichenebene polarisiert ist, bestrahlt. Gezeichnet ist links der zeitlich gemittelte Leistungsfluß (Poyntingfeld). Die Ausschnittvergrößerung rechts zeigt, daß die Leistung um die (ideal leitende) Schiene herum in den (schlecht leitenden) Boden eindringt. Die ganze Anordnung ist symmetrisch, was vom MMP-Programm ausgenützt wird.
2D: maximal 2 Symmetrieachsen
3D: maximal 3 Symmetrieebenen [20]

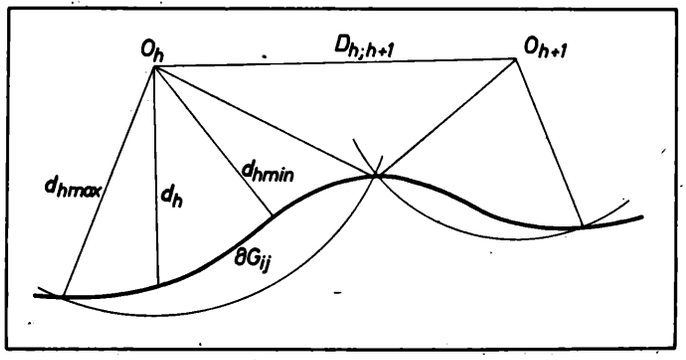


Bild 2. Die Wirkung eines Multipoles ist beschränkt

1. Die Art der Gewichtung der verschiedenen Fehler (E-Fehler gegen H-Fehler usw.) auf demselben Matchingpunkt
2. Die Art der Gewichtung der Fehler auf verschiedenen Matchingpunkten
3. Der Algorithmus zur Lösung des überbestimmten Gleichungssystems

Zu 1. Die physikalisch unterschiedlichen Größen $\vec{E}$, $\vec{H}$, $\vec{D}$, $\vec{B}$ können mit Hilfe der zugehörigen Energiedichte $\left(\varepsilon E^2, \frac{1}{\varepsilon} D^2, \mu H^2, \frac{1}{\mu} B^2\right)$ auf eine einheitliche Dimension gebracht werden. Eine E-Gleichung ($E_{ti} = E_{tj}$) wird also z. B. mit $\sqrt{\varepsilon}$ multipliziert, eine D-Gleichung mit dem gleichen Faktor dividiert usw. Nur so können die zugehörigen Fehler auch numerisch sinnvoll miteinander verglichen werden.

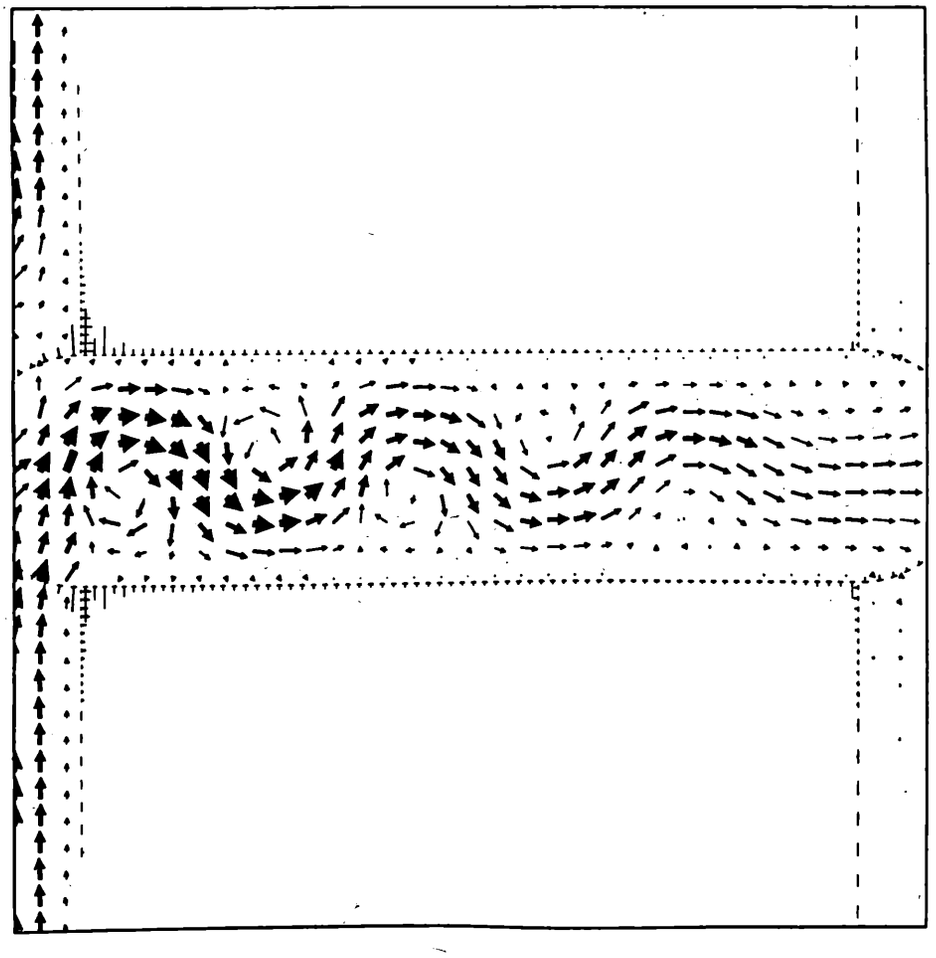


Bild 5. 2D-Streufeld im langen Schlitz
Eine harmonische Welle dringt je nach Einfallswinkel unterschiedlich durch den mehrere Wellenlängen langen Schlitz. Gezeichnet ist der zeitliche Mittelwert des Poyntingfeldes im Schlitz. Man erkennt, daß die Fehler — dargestellt durch die senkrechten Striche auf den Matchingpunkten — an den Kanten der Feldgebiete am größten sind [18].

Zu 2. Jeder Matchingpunkt repräsentiert einen Teil der Grenzkurve (-fläche). Je dichter die Punkte liegen, desto kleiner ist die zugehörige Länge (Fläche). Um eine gleichmäßige Wichtung aller Fehler über die ganze Grenzfläche zu erhalten, muß jede Gleichung mit dieser Länge (Fläche) gewichtet werden. (Genauer wird jede Gleichung mit der Quadratwurzel der Länge (Fläche) des Matchingpunktes multipliziert, denn man will ja die Fehlerquadrate minimieren!.)

Zu 3. Wird das überbestimmte Gleichungssystem in Matrixform

$$A\,x = g \tag{7}$$

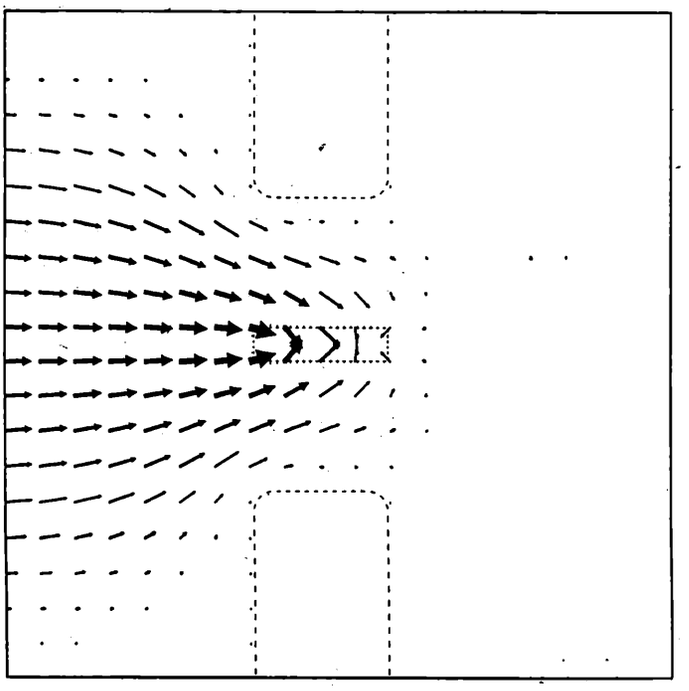
mit der rechteckigen Matrix A geschrieben, kann man bekanntlich (7) mit A^T von links multiplizieren und erhält die sog. Normalgleichungen

$$M\,x = A^T g = y \tag{8}$$

mit der (symmetrischen) quadratischen Matrix $M = A^T A$. M kann nun mit dem Verfahren von *Cholesky* in zwei Dreiecksmatrizen D und D^T faktorisiert werden. Dann kann (6) in zwei Schritten leicht gelöst werden, zuerst nach $\tilde{x}$:

$\tilde{x} = D\,x$ und dann nach x [2].

Numerisch wesentlich stabiler ist allerdings ein direktes Verfahren: Mit sogenannten Given's-Transformationen erhält man mittels „updating" aus den Zeilen von A direkt D, ohne zuerst M berechnen zu müssen. Da M gewissermaßen das „Quadrat" von A darstellt und D die „Wurzel" aus M ist, wird klar, daß jener Prozeß des Quadrierens und Wurzelbildens den Zahlenbereich erheblich einschränkt. Man erkauft sich die höhere Stabilität allerdings mit einem etwa doppelten Rechenaufwand.



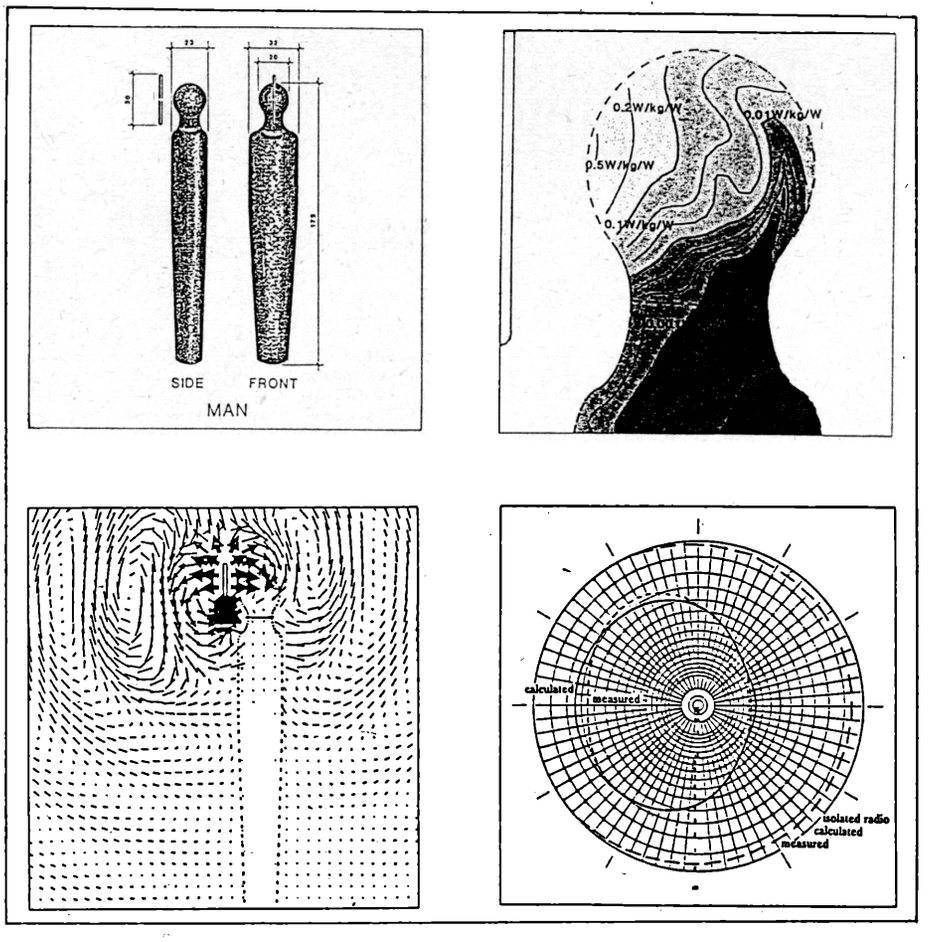


Bild 6. Pseudo-3D-Streufeld im Rechteckhohlleiter
Durch geeignete Überlagerung einer in die Bildebene hinein- und einer aus dem Bild herauslaufenden Welle ist es möglich, die Randbedingung an einem idealen Rechteckhohlleiter exakt zu erfüllen, ohne auf dieser Begrenzung Matchingpunkte einführen zu müssen. Man gelangt mit diesem Trick zu einer Pseudo-3D-Anordnung, die mit dem zweidimensionalen Programm berechnet werden kann. Im Bild der zeitliche Mittelwert des Leistungsflusses in einem Rechteckhohlleiter mit Verengung und einem schlecht leitenden Hindernis in der Lücke. Die Hohlleiterwelle kommt von links, im Programm dargestellt als Überlagerung zweier Wellenpakete, die senkrecht zur Bildebene laufen [19].

Bild 8. 3D-Streufeld am menschlichen Körper
Das Menschmodell links oben wurde mit einem (sendenden) Funkgerät vor dem Gesicht untersucht. Gezeigt wurde, daß die im Körper absorbierte Leistung (Specific Absorption Rate SAR, rechts oben) in keiner Relation steht zu jener Feldstärke, die am gleichen Ort ohne den Menschen vorhanden wäre. Mit anderen Worten: Der Mensch beeinflußt durch seine Anwesenheit das Feld in dominierender Weise. Links unten ist ein $\vec{E}$-Feldbild, rechts unten das Strahlungsdiagramm des Funkgerätes allein und mit Mensch dargestellt. Die berechneten Werte (durchgezogene Linie) stimmen gut mit den gemessenen (gestrichelt) überein [8] [9] [14].

2. Graphische Dateneingabe/Datenausgabe

Ein Programmpaket zur numerischen Feldberechnung ist fast unbrauchbar, wenn nicht leistungsfähige Routinen zur Eingabe der Daten sowie zur Darstellung der Resultate zur Verfügung stehen. Die MMP-Programme verfügen über graphische Editoren für die Eingabe der Geometrie und zur raschen Abänderung und Ergänzung eines bestehenden Datensatzes. Das Programm unterstützt den Benutzer mit einer Reihe von Plausibilitätstests bei der Formulierung des Problems und bei der Wahl der Entwicklungsfunktionen.

Ebenso wichtig sind graphische Darstellungen der Resultate. In den MMP-Programmen stehen die verschiedenartigsten Felddarstellungen zur Verfügung: Pfeile, Äquilinien, Graustufen, perspektivische „Gebirgedarstellungen" usw., die alle auch bewegt als Film direkt auf dem Bildschirm betrachtet werden können. Ferner sind zur Überprüfung der Fehler auf den Gebietsgrenzen die „Igelbilder" sehr nützlich [10] [11].

Die Berechnung der Feldbilder erfolgt zweckmäßigerweise erst nach der Berechnung der Koeffizienten A_{ik}. Sind diese Parameter nämlich einmal bekannt, können beliebige Ausschnitte des gesamten Feldgebietes dargestellt werden, ohne die Hauptarbeit, die

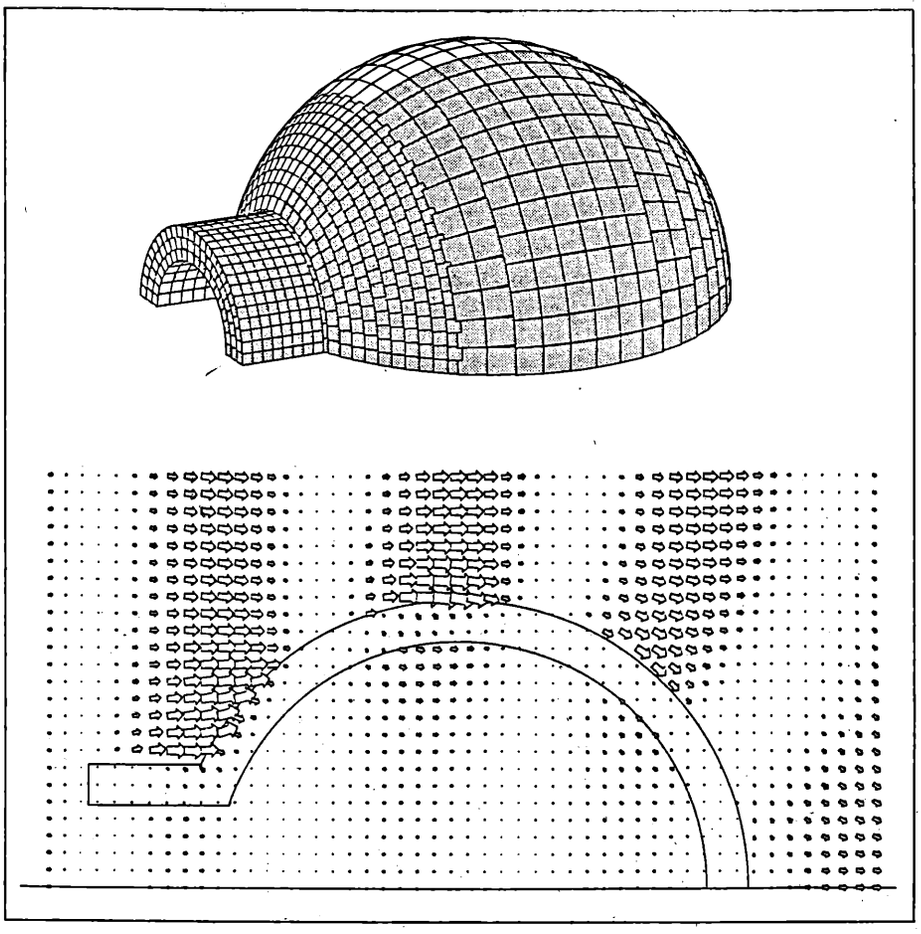


Bild 7. 3D-Streufeld an einem Iglu
Ein Iglu aus Schnee ($\varepsilon_r = 4$; $\sigma = 0{,}01$) wird von einer ebenen Welle angestrahlt. Die Welle ist in der Größenordnung des Iglu. Der (ideal leitende) Boden wurde durch eine Symmetriebedingung simuliert.

Bild 7a. Das Poyntingfeld zu einem bestimmten Zeitpunkt,

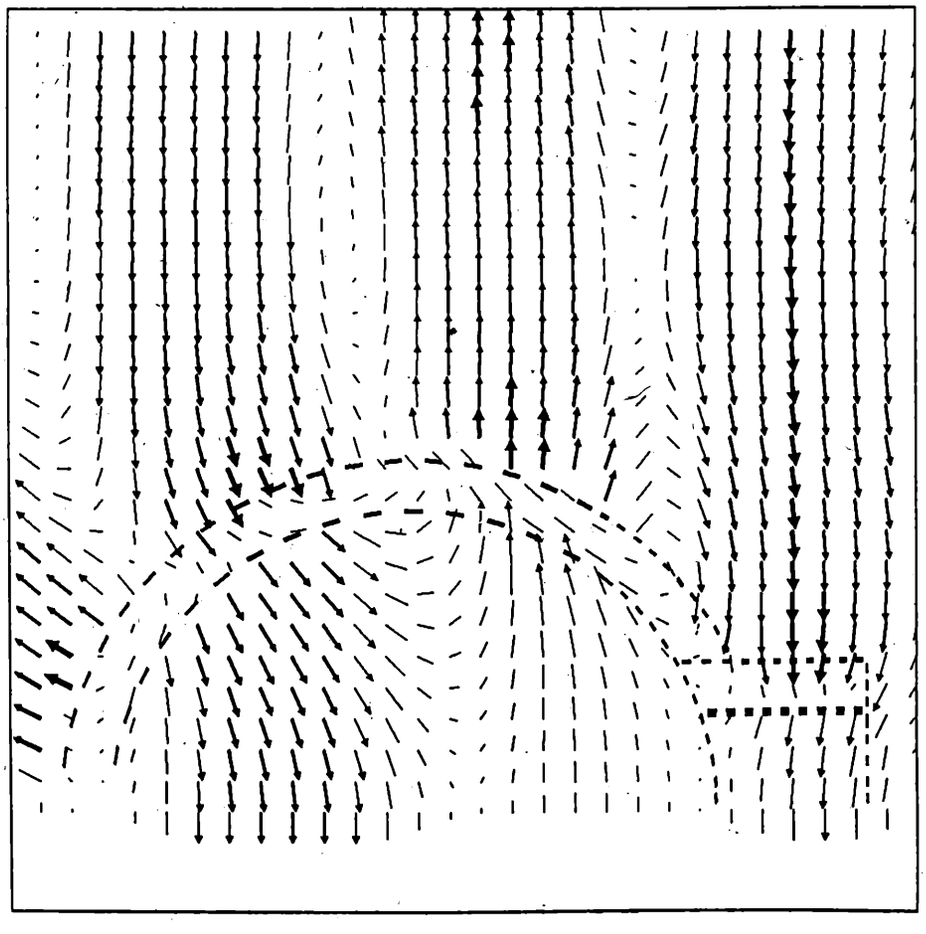


Bild 7b. Das elektrische Feld im Querschnitt (verschiedene Zeitpunkte!). Im Bild ist sichtbar, daß der Eingang durch eine fiktive Gebietsunterteilung modelliert wurde. Multipol-Ansätze konvergieren am schnellsten, wenn die Teilgebiete möglichst kugelähnlich sind [12].

Berechnung der A_{lk}, nochmals zu machen. Diese Möglichkeit des „Zooming" ohne großen Zusatzaufwand ist ein Vorteil der Multipoltechnik gegenüber anderen Feldberechnungsmethoden wie Finite Elemente oder Finite Differenzen [6].

3. Hardware

Die MMP-Programme sind in STANDARD FORTRAN 77 geschrieben und laufen sowohl auf Großrechnern (CDC, VAX) und auf Workstations (SUN), als auch auf PC (IBM-Compatibles). Interessant ist, daß die heutigen Personalcomputer den Großrechnern — vom Benutzer aus gesehen — hinsichtlich der „turn around"-Rechenzeit ebenbürtig, wenn nicht überlegen sind, während beim interaktiven Teil (Ein-/Ausgabe) der PC der Workstation nahekommt. Hinsichtlich des Speicherplatzes sind heute alle Anlagentypen vergleichbar [7] [12] [15] [18] [19].
Die Parallelisierung der Rechenintensiven „Updating"-Routine und die Implementation des MMP-Programmes auf Transputern machten schließlich den mit 4 bis 20 Transputern aufgerüsteten PC auch bezüglich der CPU-Time dem Großrechner überlegen (100-fache Geldeinsparung!) [13] [16] [20].

4. Beispiele

Die Beispiele in den Bildern 3, 4 (siehe Titelbild) und 5 bis 8 stellen eine Auswahl der bisher an der ETH mit den MMP-Programmen berechneten Feldprobleme dar.

Literatur

[1] *Vekua, I. N.:* New Methods for solving Elliptic Equations. North-Holland Publ. Comp., Amsterdam 1967
[2] *Dongarra, J. J.; Moler, C. B.; Bunch, J. R.; Stewart, G. W.:* Linpack User's Guide. SIAM Philadelphia 1979
[3] *Leuchtmann, P.:* Automatisierung der Funktionswahl bei der MMP-Methode. Dissertation Nr. 8301 ETH Zürich 1987[a])
[4] *Hafner, Ch.:* Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder. Berlin: Springer-Verlag 1987
[5] *Leuchtmann, P.:* A Completely Automated Procedure for the Choice of Functions in the MMP-Method. Proc. of the Internat. Conf. on Computational Method in Flow Analysis. Okayama 1988
[6] *Hafner, Ch.:* On the comparison of Numerical Methods, Applied Computational Electromagnetics Society (ACES). Journal and Newsletter, Vol 3 (1988) No 2
[7] *Hafner, Ch.:* Numerical Field Calculations on PC's. IEEE AP-S Newsletter, Dec. 1988
[8] *Kuster, N.; Hafner, Ch.:* Numerische Methoden zur Berechnung der Feldverteilung im menschlichen Körper, verursacht durch körpernahe Funkgeräte. Proc. der Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Nichtionisierende Strahlung, Köln 1988
[9] *Kuster, N.; Ballist, R.:* MMP Method Simulation of Antenne with Scattering Objects in the Closer Nearfield. IEEE Trans. on Magnetics, July 1989
[10] *Hafner, Ch.; Ballist, R.:* Electromagnetic Field Calculations on PC's and Workstations using the MMP Method. IEEE Trans. on Magnetics, July 1989
[11] *Regli, P.; Hafner, Ch.; Kuster, N.:* Graphic Output Routines of the MMP Programm Package on PC's and SUN Workstations. Proc. of the 5th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES), Monterey 1989
[12] *Bomholt, L.; Hafner, Ch.:* A MMP Program for computations of 3D Electromagnetic Fields on PC's. Proc. of the 5th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES), Monterey 1989
[13] *Hafner, Ch.; Bomholt, L.:* Implementation and Performance of MMP Programs on Transputers. Proc. of the 5th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES), Monterey 1989
[14] *Kuster, N.:* Computations of 3D Problems of High Complezity with GMT. Proc. of the IEEE AP-S Internat. Symp. and URSI Radio Science Meeting, San Jose, CA, 1989
[15] *Hafner, Ch.:* A Program Package Based on the Generalized Multipole Technique (GMT). Proc. of the IEEE AP-S Internat. Symp. and URSI Radio Science Meeting, San Jose, CA, 1989
[16] *Hafner, Ch.:* Parallel Computations of Electromagnetic Fields on PC's using Transputers. Proc. of the IEEE AP-S Internat. Symp. and URSI Radio Science Meeting, San Jose, CA, 1989
[17] *Leuchtmann, P.:* The construction of Practically Useful Fast Converging Expansions for the GMT. Proc. of the IEEE AP-S Internat. Symp. and URSI Radio Science Meeting, San Jose, CA, 1989
[18] *Hafner, Ch.:* Computations of Electromagnetic Fields by the MMP Method. Proc. of the 1989 URSI Internat. Symp. on Electromagnetic Theory, Stockholm 1989
[19] *Bomholt, L.; Hafner, Ch.:* Calculation of Waveguide Discontinuities with 2D and 3D MMP Programs. Proc. of the Second Internat. Symp. on ANTENNAS and EM THEORY, Shangai 1989
[20] *Hafner, Ch.:* Computations of Electromagnetic Fields on Transputers by the MMP Method. IEEE Trans. on Magnetics, Tokyo, 7th COMPUMAG Conference, Sept. 1989

EA 6097

[a]) Die Dissertation *P. Leuchtmann* [3] kann bei Prof. *Altmann*, TH Leipzig, Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik, eingesehen werden. Dies gilt auch für die Dissertationsabhandlung *Klaus, G.:* 3-D-Streufeldberechnungen mit Hilfe der MMP-Methode, ETH Zürich 1985, Nr. 7792. Für die Übergabe dieser Materialien wird Herrn Prof. *Baggenstos* an dieser Stelle recht herzlich gedankt.

Berechnung des elektrischen Strömungsfeldes zur Projektierung von Anodenfeldern für den katodischen Korrosionsschutz in vermaschten Netzen

M. Müller, Leipzig

Mitteilung aus der Sektion Elektroenergieanlagen der TH Leipzig, Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik

1. Einführung

Der Lehrstuhl „Grundlagen der Elektrotechnik" der TH Leipzig arbeitet seit Anfang 1989 mit einem Forschungskollektiv des Brennstoffinstitutes Freiberg (BIF) mit Sitz in Leipzig zusammen. Die Zusammenarbeit betrifft das Gebiet der Projektierung des katodischen Korrosionsschutzes. Der katodische Korrosionsschutz ist ein Verfahren, mit dessen Hilfe es unter Ausnutzung elektrochemischer Zusammenhänge möglich ist, die Korrosion als Grenzflächenreaktion zwischen einem Stahlobjekt und einem Elektrolyten zu verhindern. Praktisch angewendet wird er für Rohrleitungen und andere Metallobjekte im Erdreich und in Gewässern. Die Wirkungsweise läßt sich kurz schildern, indem auf den Vorgang der Korrosion näher eingegangen wird. Beim unbehinderten Korrosionsvorgang kommt es zu zwei Teilreaktionen:

— Sauerstoffreduktion $1/2\ O_2 + H_2O + 2e \rightarrow 2\ OH^-$
— Eisenzersetzung $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e$.

Die anodische Teilreaktion (Eisenzersetzung) liefert die Elektronen, die nötig sind, um die katodische Teilreaktion ablaufen zu lassen. Bei Anwendung des katodischen Schutzes werden diese Elektronen aus einer Spannungsquelle geliefert, die Eisenzersetzung findet nicht statt.
In der praktischen Anwendung wird ein Strom von einem Gleichrichter über ein Anodenfeld ins Erdreich eingespeist. Dieser Strom fließt zum zu schützenden Metallobjekt, über die Grenzfläche Erdreich/Metall in das Objekt hinein und von dort wieder zum Gleichrichter. An der Grenzfläche Erdreich/Metall werden dadurch die Korrosionsvorgänge verringert bzw. gestoppt, gleichzeitig senkt sich das elektrochemische Potential ab. Diese Potentialabsenkung gibt die Möglichkeit, den Vorgang meßtechnisch zu erfassen. Bei einer Potentialabsenkung um 100 mV gilt das Objekt als gegen Korrosion geschützt. Nähere Informationen entnehme der interessierte Leser den Quellen [1], [2] und [3]. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit vermaschten Rohrnetzen im Erdreich als dem zu schützenden Objekt. Ziel der Projektierung des katodischen Korrosionsschutzes ist in diesem Fall eine optimale Anordnung der Anodenfelder, damit sich eine gleichmäßige Stromverteilung über das gesamte zu schützende Rohrnetz ergibt. Dazu ist eine Berechnung des elektrischen Strömungsfeldes nötig, worauf sich die Unterstützung der TH Leipzig bezieht.
Die Aufgabenstellung als solche erlaubt eine Lösungsvariante, die wesentlich von den in [7] und [8] beschriebenen abweicht.

2. Der elektrolytische Trog

Bisher wurde für die Ermittlung günstiger Anodenstandorte der elektrolytische Trog verwendet. Hierzu nur einige wesentliche Erläuterungen (Näheres in [2] und [4]).
Ein zu untersuchendes Rohrnetz wird als Modell aus Stahldraht gefertigt. Mit diesem werden im elektrolytischen Trog Einspeiseversuche an verschiedenen Einspeiseorten durchgeführt und jeweils

Dipl.-Ing. *M. Müller* ist befristeter Assistent am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik der Technischen Hochschule Leipzig.

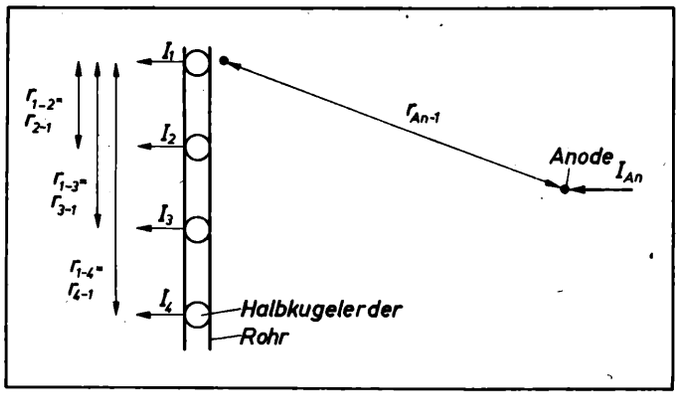


Bild 1
Darstellung der verwendeten Größen am Beispiel eines Rohres und 4 daraus modellierter Halbkugelerder

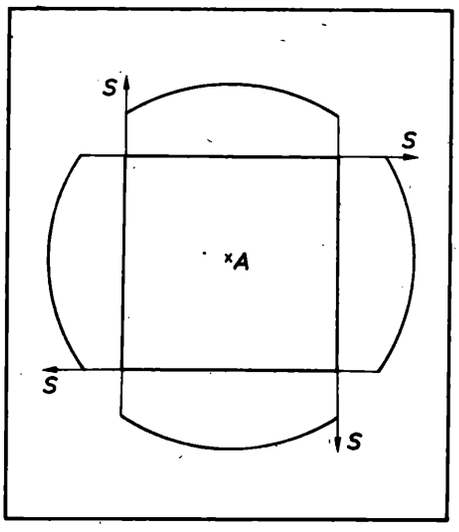


Bild 2
Stromdichte S bei einer quadratischen Masche mit günstiger Anodenposition A

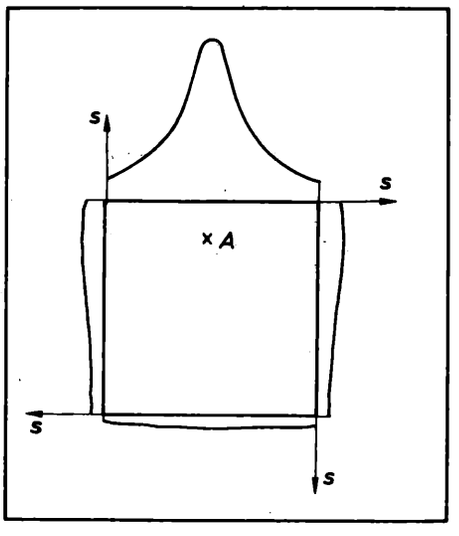


Bild 3
Stromdichte S bei einer quadratischen Masche mit ungünstiger Anodenposition A

die Ausbildung des elektrochemischen Potentials gemessen. Dieses Verfahren ist mit erheblichen Nachteilen belastet. Das hier beschriebene Verfahren dient zur Berechnung der in die einzelnen Rohrabschnitte eintretenden Schutzstromdichte um darausfolgend die optimalen Anodenstandorte zu bestimmen. Die Einspeiseversuche am elektrolytischen Trog sollen damit ersetzt werden.

3. Verfahren zur Berechnung der Schutzstromdichte

3.1. Vereinfachungen und Modelle

Im folgenden Abschnitt soll erläutert werden, unter welchen Bedingungen und Vereinfachungen eine Berechnung der in die Rohrabschnitte eintretenden Stromdichte möglich ist.
Das zu untersuchende Problem sei noch einmal kurz dargestellt: Gegeben ist ein Rohrnetz. Dieses ist fest vorgegeben, an ihm kann nichts geändert werden.
Weiterhin wird ein Einspeiseort (Position des Anodenfeldes) angenommen. Dieser Einspeiseort kann, wenn er sich als ungünstig erweist, im Verlauf der Berechnung geändert werden. Zwischen dem Einspeiseort und dem Rohrnetz befindet sich das Erdreich, welches als Elektrolyt fungiert. Dieser Elektrolyt wird als isotrop und homogen vorausgesetzt, das bedeutet, daß die elektrische Leitfähigkeit des Elektrolyten richtungsunabhängig und an allen Orten gleich ist.
Gesucht ist die Stromdichte, die in die einzelnen Rohrabschnitte eintritt. Der an einer beliebigen Stelle des Rohrnetzes eintretende minimale Strom muß den katodischen Schutz gerade noch gewährleisten, an Stellen der maximalen Stromdichte wird mehr Strom aufgewendet, als unbedingt nötig ist. Die Menge des zuviel aufgewendeten Stromes möglichst klein zu halten, ist die Bedingung, die erfüllt werden soll. Eine Berechnung der Stromeintrittsmenge in Prozent des Stromes, der über das Anodenfeld eingespeist wird, genügt also. Das Rohrnetz wird betrachtet, als würde es aus linienhaft nebeneinander angeordneten Punktquellen (Halbkugelerdern) bestehen. Halbkugelerder werden als Modell verwendet, da sich das elektrische Feld der Rohre und der Anodenfelder von der Erdoberfläche aus halbkugelförmig ausbreitet. Da die Leitfähigkeit des dargestellten Metallrohres bedeutend höher als die des Erdreiches ist, wird davon ausgegangen, daß das elektrische Potential der modellierten Halbkugelerder konstant ist. Die Verteilung der Äquipotentiallinien zwischen einer Anode und einem Rohr ist annähernd gleich der Verteilung der Äquipotentiallinien zwischen dieser Anode und den das Rohr darstellenden Halbkugelerdern. Eine zweite Vereinfachung beläuft sich darauf, daß man annimmt, daß die Äquipotentiallinie in unmittelbarer Rohrnähe zu dem Rohr parallel verläuft, d.h., daß in unmittelbarer Rohrnähe das Potential überall gleich ist.

3.2. Mathematischer Ansatz

Das Rohr wird in entsprechend viele Stücke zerlegt, jedes dieser Stücke wird durch einen Halbkugelerder dargestellt und in 1 m Entfernung mit einem Betrachtungspunkt versehen. In einem solchen Betrachtungspunkt gilt, daß das Potential dieses Punktes aufgefaßt werden kann als die Summe der Potentiale, die aus allen in Betracht kommenden Stromquellen hervorgerufen werden. Es ergibt sich:

$$\varphi_N = \frac{I_{An}}{2\pi\varkappa}\frac{1}{r_{An-N}} + \sum_{n=1}^{N-1}\frac{-I_n}{2\pi\varkappa}\frac{1}{r_{n-N}} + \frac{-I_N}{2\pi\varkappa}. \qquad (1)$$

φ_N	Potential des Punktes
I_{An}	Anodenstrom
r_{An-N}	Abstand Anode-Betrachtungspunkt
N	Anzahl der Betrachtungspunkte = Anzahl der Halbkugelerder, in die das Rohrnetz zerlegt wird
I_n	Strom, der in die Halbkugelerder fließt
I_N	Strom, der in den Halbkugelerder fließt, in dessen Nähe sich der Betrachtungspunkt befindet

Stellt man diese Gleichung für alle Betrachtungspunkte auf, so ergibt sich folgendes Gleichungssystem:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= (I_{An}/2\pi\varkappa)\cdot 1/r_{An-1} + \sum_{n=1}^{N}\frac{-I_n}{2\pi\varkappa}\cdot 1/r_{n-1}\\ &\vdots \qquad\qquad \vdots\\ \varphi_N &= (I_{An}/2\pi\varkappa)\cdot 1/r_{An-N} + \sum_{n=1}^{N}\frac{-I_n}{2\pi\varkappa}\cdot 1/r_{n-N}.\end{aligned} \qquad (2)$$

Bei r_{n-N} für $n = N$ gilt $r_{n-N} = 1$.
Dieses Gleichungssystem ergibt in Matrizenschreibweise:

$$\begin{pmatrix}\varphi_1\\ \vdots\\ \varphi_N\end{pmatrix} = (I_{An}/2\pi\varkappa)\cdot\begin{pmatrix}\frac{1}{r_{An-1}}\\ \vdots\\ \frac{1}{r_{An-N}}\end{pmatrix} + (1/2\pi\varkappa)\cdot\begin{pmatrix}\frac{1}{r_{1-1}} & \cdots & \frac{1}{r_{n-1}}\\ \vdots & & \vdots\\ \frac{1}{r_{1-N}} & \cdots & \frac{1}{r_{n-N}}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-I_1\\ \vdots\\ -I_N\end{pmatrix}. \qquad (3)$$

Oder vereinfacht geschrieben:

$$\varphi = c_1 \cdot Y + c_2 \cdot R \cdot (-I) \qquad (4)$$

wobei φ, Y und I Vektoren darstellen, c_1 und c_2 skalare Größen sind und R eine Matrix darstellt.

Das Potential ist als Absolutwert nicht definiert, deshalb ist es zulässig, zur Vereinfachung der Rechnung das Potential als Null an allen Stellen zu betrachten.

$$0 = c \cdot Y + R \cdot (-I) \text{ bei } c = c_1/c_2. \quad (5)$$

Gesucht ist aus dieser Gleichung der Stromstärkevektor. Dieser stellt die Ströme dar, die in die als Modell geschaffenen Halbkugelerder fließen. Setzt man diese Stromstärke auf die Länge und den Durchmesser der ursprünglich vorhandenen Rohrleitungsstücke an, ergibt sich die diesem Abschnitt entsprechende Stromdichte. Also wird die Matrizengleichung umgestellt nach I:

$$I = R^{-1}(c \cdot Y). \quad (6)$$

Aus der Lösung dieser Gleichung ergibt sich der I-Vektor, dessen einzelne Elemente die über die Halbkugelerder abfließenden Ströme ergeben. Ein Vorteil dieser Form des Ansatzes: Die Matrix R, die ja die Geometrie des Rohrnetzes darstellt und deren Invertierung die meiste Rechenzeit benötigt, kann im folgenden in invertierter Form gespeichert werden. Soll der Einspeisepunkt verschoben werden, wirkt sich dies nur auf die Änderung des Y-Vektors aus, es ist keine erneute Invertierung einer Matrix notwendig. Das Gesamtproblem, das zur Lösung immer mehrere Verschiebungen des Einspeisepunktes erfordert, ist also bedeutend schneller zu lösen.
Als Kriterium, nach dem entschieden wird, ob dieser Einspeiseort der optimale ist, wird der unnötig aufgewendete Strom herangezogen. Dazu wird der Ort ermittelt, an dem die eintretende Stromdichte am geringsten ist. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß die Anlage so eingestellt wird, daß an diesem Ort der Schutz gerade noch gewährleistet ist. An allen Halbkugelerdern, an denen der Strom diesen Mindeststrom übersteigt, wird zuviel Strom aufgewendet. Dieser zuviel aufgewendete Strom wird aufsummiert. Wenn die Summe des unnötig aufgewendeten Stromes ihr Minimum erreicht, dann ist dies der optimale Anodenstandort. Mit dem gleichen Ansatz lassen sich die Ströme von mehreren Einspeiseorten berechnen. Der Vektor Y wird dann selbst zur Matrix, in deren Spalten die geometrischen Verhältnisse jedes einzelnen Einspeiseortes stehen. Ein Manipulieren mit einzelnen Einspeisepunkten oder ein Hinzunehmen weiterer Einspeisepunkte stellt diese mathematische Grundkonzeption vor keinerlei Probleme. Auch die Höhe des Stromes, der von jedem Einspeiseort in die Erde eingespeist wird, muß nicht bei allen Einspeiseorten gleich sein, da nur die Anteile des aus dem jeweiligen Einspeiseort stammenden Gesamtstromes, die in die einzelnen Halbkugelerder fließen, berechnet werden.
Ein mathematischer Ansatz dieser Problematik ist in dieser Form nicht möglich, wenn die Leitfähigkeit nicht konstant ist bzw. wenn sie eine Funktion des Ortes ist.

4. Ausblick

Das Berechnungsverfahren wurde entsprechend der in Abschnitt 3 gegebenen Erläuterungen für den Computereinsatz aufgearbeitet. Es liegt ein Programm, geschrieben in TURBO-PASCAL und lauffähig unter MS/DOS-kompatiblen Betriebssystemen, vor.
Die berechneten Stromverteilungen einfacher geometrischer Anordnungen sind in den Bild 2 und 3 dargestellt.
Das erste Objekt, bei dem eine Ermittlung der Anodenstandorte sowohl mit Hilfe des elektrolytischen Troges als auch mit Hilfe des beschriebenen Berechnungsverfahrens erfolgen wird, soll das stark vermaschte Rohrnetz um den Untergrundgasspeicher Kirchheilingen sein.

Literatur

[1] *v. Baeckmann, W.; Schwenk, W.:* Handbuch des katodischen Korrosionsschutzes, 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel: Verlag Chemie 1980
[2] *Nowak, K.-E.:* Katodischer Korrosionsschutz von erdverlegten metallenen Versorgungseinrichtungen in Wohnneubaugebieten und Industrieobjekten. Dissertation, TH Leipzig, 1987
[3] *Queitsch, G.:* Korrosionsschutz von Rohrleitungsanlagen. Gasversorgungstechnik, Leipzig (1979), S. 121–140
[4] *Müller, M.; Gießner, J.:* Erarbeitung eines Berechnungsverfahrens zur Bestimmung günstiger Standorte von Anodenfeldern in katodischen Korrosionsschutzsystemen. Diplomarbeit, TH Leipzig, 1989
[5] *Philippow, E.:* Grundlagen der Elektrotechnik. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. 1962
[6] *Wunsch, G.:* Feldtheorie. Band 1. Mathematische Grundlagen. Berlin: Verlag Technik 1973
[7] *Heuze, B.:* Corrosion and protection des platesformes petrolieres offshore en beton arme. Annales Inst. Techn. Bat. Trav. Publ.-Paris, 1978
[8] *Strommen, R.;* u.a.: Advances in offshore cathodic protection modelling using the boundary element method. Mater. perform., Houston (1987), S. 23–28

EA 6134

Anwendung klassischer Methoden der Feldtheorie für eine erste Bewertung feldverzerrender Einflußfaktoren des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen

H. Junghans, Leipzig

Mitteilung aus der Sektion Elektroenergieanlagen der TH Leipzig, Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik

1. Zielstellung der feldtheoretischen Untersuchungen

Durch Mitarbeiter des Lehrstuhls „Grundlagen der Elektrotechnik" an der Technischen Hochschule Leipzig wird im Rahmen von Forschungsverträgen mit Industriepartnern an der Realisierung eines einsatzfähigen Spannungswarngerätes (SWG) für freizügig ortsveränderliche Arbeitsmittel (FOAM) gearbeitet. Ein SWG ist ein sicherheitstechnisches Mittel, das bei Arbeiten mit FOAM im Bereich von Freileitungen eine unzulässige Annäherung entsprechend gültiger gesetzlicher Forderungen (z. B. TGL 30490 und ABAO 620) durch Teile der Arbeitsmaschine (z. B. Ausleger eines Kranes) an das Freileitungssystem verhindern soll. Eine ausführliche Darstellung dieser Problematik ist in [1] [2] enthalten.
Wie einer französischen Publikation entnommen werden konnte [3], wird auch international seit bereits etwa 25 Jahren in bestimmten Abständen die genannte Problematik aufgegriffen. Sie konnte jedoch bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zu einer Lösung geführt werden, die den besonders hohen Anforderungen, welche an ein derartiges Gerät z. B. in Bezug auf Zuverlässigkeit und Ansprechtoleranz zu stellen sind, gerecht wird. Es ist kritisch einzuschätzen, daß der Stand der eigenen Forschungsarbeiten noch nicht die Grundlage für die Realisierung eines SWG bilden kann, das die Forderung nach weitgehend automatischer Arbeitsweise, d. h. einer Auslösecharakteristik ohne manuelle Betätigung durch Bedienpersonal (Schwellwertumschaltung) unabhängig von

— der Spannungshöhe der felderzeugenden Freileitung
— des Mastkopfbildes (Anordnung der Hauptleiter und Lage der Erdseile) und
— der Annäherungsart (Fahren, Schwenken, Teleskopieren u. a.) durch Teile der FOAM

und anderer hier nicht aufgeführter Größen erfüllt.
Die Ursachen dafür liegen aus der Sicht des Verfassers in der unzureichenden Beherrschung der physikalischen Erscheinung, welche zur Abstands- und Spannungsebenenerkennung ausgenutzt werden soll. Der überwiegende Teil bisher realisierter Geräte gewinnt ein Warnsignal mittels kapazitiver Sondenanordnungen an den zu schützenden Teilen der FOAM aus dem von dem Übertragungssystem aufgebauten quasistationären elektrischen Feld. Unterschiede sind bei der Gestaltung der Sondengeometrie (stabförmig, kugelförmig, Streifenleiter u. a.) und der Wahl der Feldgröße, zu welcher sich das Warnsignal proportional verhalten soll (Potentialsonden, E-Sonden, D-Sonden), festzustellen.
Gegenstand der vom Verfasser durchgeführten Arbeiten auf diesem Gebiet war zunächst eine umfassende Systematisierung der feldbeeinflussenden und signalverfälschenden Größen vorzunehmen [4]. Für die anschließende Bewertung ausgewählter Einflußgruppen bezüglich der Beeinflussung der Ansprechtoleranz bzw. Zuverlässigkeit war die Bestimmung geeigneter Beschreibungsmethoden erforderlich. Dem Verfasser kam es dabei darauf an, den Umfang notwendiger, meßtechnischer Untersuchungen an einem maßstäblichen Modell einer Freileitung oder von Messungen am realen Objekt durch theoretische Analysen des elektrischen Feldes auf der Grundlage geeigneter feldtheoretischer Ansätze zu minimieren bzw.

Dipl.-Ing. *Helge Junghans* ist befristeter Assistent am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik Lehrstuhlinhaber — Prof. Dr. sc. techn. *S. Altmann* der TH Leipzig.

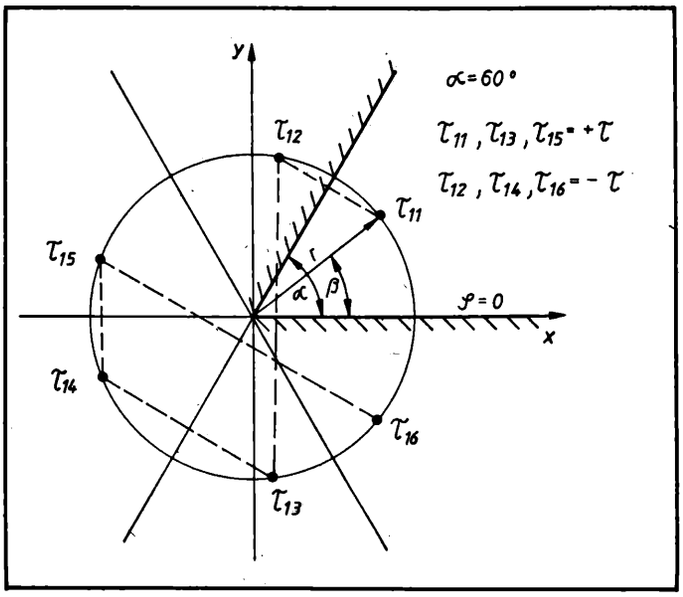


Bild 1. Spiegelung einer Linienladung an zwei sich schneidenden metallischen Ebenen

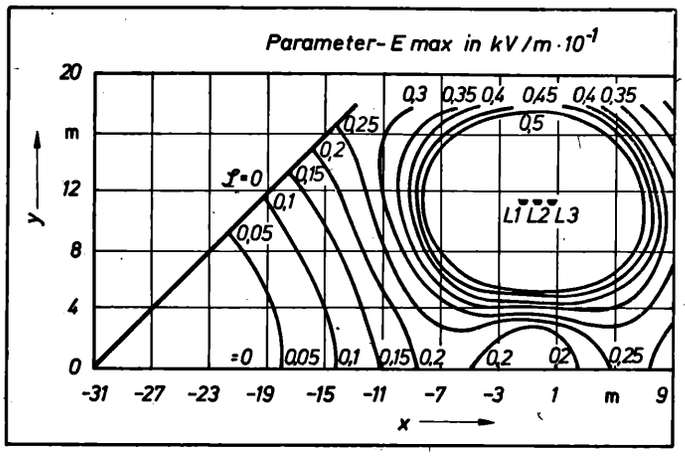


Bild 2. Verlauf der Äquilinien von E_{max} an zwei sich schneidenden metallischen Ebenen (Dreileiteranordnung)

deren Effizienz zu erhöhen. Die sprunghafte Entwicklung der Rechentechnik ist verbunden mit einem starken Bestreben nach Vervollkommnung bekannter Methoden zur numerischen Feldberechnung (z. B. Methode der finiten Elemente — FEM oder Ersatzladungsverfahren — CSM) aber auch der Schaffung neuer Verfahren [5]. Trotz dieser positiven Tendenzen tritt nicht selten der Fall ein, daß innerhalb der für die Lösung eines anstehenden Problems zur Verfügung stehenden Zeit es unmöglich ist, die erforderliche Software zu beschaffen oder selbst zu erstellen, vorausgesetzt die Bedingungen seitens der Hardware sind erfüllt. Aus dieser Sicht läßt sich nach Meinung des Verfassers ein akzeptabler Kompromiß für die Durchführung erster theoretischer Analysen durch die Anwendung klassischer Methoden der Feldtheorie erzielen. Diese Behauptung wird durch Fachbücher wie [6] [7] und die Ergebnisse im Rahmen der Arbeit des Verfassers gestützt.

2. Kurze Charakteristik der feldtheoretischen Ansätze

Ausgangspunkt der gezielten Untersuchung des Einflußes leitfähiger Begrenzungsflächen auf das quasistationäre elektrische Feld beliebiger Starkstom-Freileitungen bildet der Ansatz zur Beschreibung des ungestörten Feldes von Mehrleitersystemen über das logarithmische Potential [8] und dessen programmtechnische Umsetzung [9]. Wie in [9] dargestellt, reduziert sich die Lösung der Feldgleichung durch die Transformation in ein adäquates Quellenproblem auf die Schritte

1. Aufstellen der Potentialkoeffizientenmatrix G_{ij} und Bestimmung der Ladungsverteilung und
2. Berechnung der Feldgrößen in vorgegebenen Aufpunkten durch Überlagerung der Teilfeldgrößen resultierend aus den Teilladungsmengen (Superpositionsprinzip).

Nachfolgend wird beschrieben, wie sich dieser Ansatz für eine erste Analyse gestörter Feldverhältnisse erweitern läßt.

2.1. Das elektrische Feld an zwei sich schneidenden metallischen Ebenen

Unter bestimmten Voraussetzungen können elektrische Felder, die durch sich schneidende metallische Ebenen begrenzt werden, durch Anwendung der Methode der Spiegelbilder beschrieben werden [7] [8]. Die Spiegelung von Linienladungen an zwei sich schneidenden Ebenen dient als erster stark vereinfachter Ansatz zur Beschreibung des Einflusses leitfähiger Objekte im Bereich des Freileitungsfeldes (Feld am Kranausleger bei verschiedenen Neigungswinkeln oder der Einfluß großflächiger, hoher Gebäude) auf die Aussagesicherheit und Zuverlässigkeit eines SWG.
Zunächst soll der mathematische Hintergrund der Berechnung des Feldes einer Linienladung zwischen zwei sich schneidenden Ebenen, welche parallel zur Schnittlinie der Ebenen verläuft, erläutert werden. Erfüllt der Schnittwinkel α die Bedingung

$$\alpha = \frac{\pi}{n} \qquad \text{mit } n \geqq 2 \text{ und ganzzahlig,}$$

so läßt sich das Feldbild leicht mit der Methode der Spiegelung

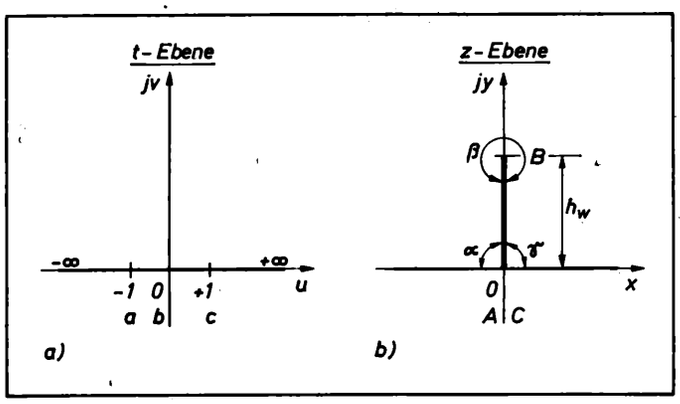


Bild 3. Abbildung einer rechtwinklig zur Erde gerichteten Begrenzungsfläche mit der Höhe h_w

bestimmen. Die Lage der Spiegelladungen ergibt sich durch Spiegelung an den Schnittebenen. Die Anzahl der Spiegelladungen einer Ladung im betrachteten Feldgebiet ist $(2n - 1)$. Daneben ist die Bedingung zu erfüllen, daß die Summe aller Ladungen gleich Null ist. In der Darstellung in Bild 1 wurde für den Fall $n = 3$ bzw. $\alpha = 60°$ die Konstruktion der Spiegelladungen durchgeführt. Das Potential in einem beliebigen Punkt zwischen den Schnittebenen ermittelt sich aus

$$\varphi_p = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 l}\sum_{i=1}^{2n} Q_i \ln\left(\frac{1}{r_i}\right) = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 l}\sum_{i=1}^{2n}(-1)^{i-1}\ln\left(\frac{1}{r_i}\right) \qquad (1)$$

wobei r_i den Abstand zwischen dem Aufpunkt P und dem Quellpunkt der Linienladung $\tau_i = Q_i/l$ darstellt.
Die Programmstruktur zur Berechnung des elektrischen Feldes von Mehrleitersystemen an sich schneidenden metallischen Ebenen mußte gegenüber dem Fall des ungestörten Feldes wie folgt ergänzt oder modifiziert werden:

1. Ermittlung der Lagekoordinaten der $(2n - 1)$-Spiegelladungen aus den Koordinaten x_i und y_i der Linienladung τ_i mit

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2},$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{y_i}{x_i}\right), \quad \text{s. Bild 1.}$$

Für $j = 2k$ mit $k = 1 \cdots n$ gilt

$$x_{ij} = r_i \cos\left(j \cdot \frac{\pi}{n} - \beta\right) \quad \text{und} \qquad (2)$$

$$y_{ij} = r_i \sin\left(j \cdot \frac{\pi}{n} - \beta\right), \quad \text{bzw.} \qquad (3)$$

für $j = 2k + 1$ mit $k = 1 \cdots (n - 1)$ gilt

$$x_{ij} = x_{ij-1} \text{ und}$$

$$y_{ij} = (-1) \cdot y_{ij-1}.$$

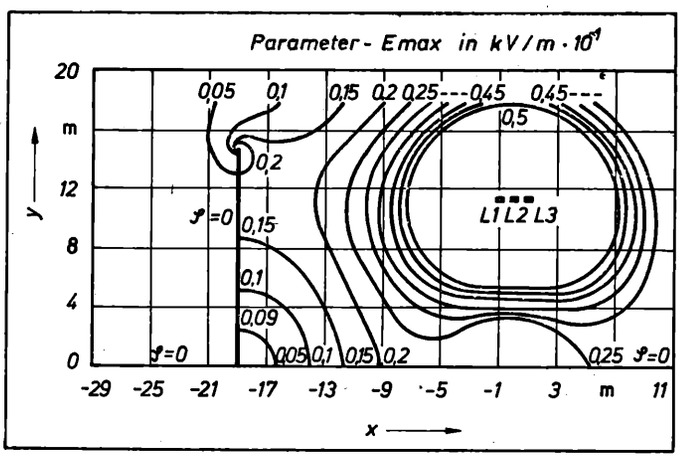


Bild 4. Verlauf der Äquilinien von E_{max} an einer rechtwinklig zur Erde gerichteten Fläche mit $\varphi = 0$ (Dreileiteranordnung)

2. Aufstellen der Potentialkoeffizientenmatrix G_{ij} mit den Beziehungen

— für die Elemente der Hauptdiagonale

$$g_{ii} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 l}\ln\left(\frac{1}{r_i}\right) + \sum_{k=2}^{2n}(-1)^{k-1} \times \ln\left(\frac{1}{\sqrt{(x_{i1}-x_{ik})^2 + (y_{i1}-y_{ik})^2}}\right) \quad (4)$$

— und für die restlichen Matrixelemente

$$g_{ij} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 l}\cdot\sum_{k=1}^{2n}(-1)^{k-1}\ln\left(\frac{1}{\sqrt{(x_{i1}-x_{jk})^2 + (y_{i1}-y_{jk})^2}}\right) \quad (5)$$

mit $i \neq j$ und $g_{ij} = g_{ji}$.

3. Berechnung der Feldgrößen in vorgegebenen Aufpunkten $P\,(x_p, y_p)$ aus den komplexen Ladungen

— komplexes elektrisches Potential

$$\underline{\varphi}_p = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 l}\cdot\sum_{i=1}^{m}Q_i\sum_{k=1}^{2n}(-1)^{k-1} \times \ln\left(\frac{1}{\sqrt{(x_p-x_{ik})^2 + (y_p-y_{ik})^2}}\right) \quad (6)$$

mit m — Anzahl der Leiter und
n — Teilung von π (Schnittwinkel α);

— komplexe elektrische Feldstärkekomponenten in der x-y-Ebene

$$\vec{\underline{E}}_x = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 l}\cdot\sum_{i=1}^{m}Q_i\sum_{k=1}^{2n}(-1)^{k-1} \times \frac{x_p - x_{ik}}{(x_p-x_{ik})^2 + (y_p-y_{ik})^2}\cdot\vec{e}_x \quad (7)$$

$$\vec{\underline{E}}_y = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 l}\cdot\sum_{i=1}^{m}Q_i\sum_{k=1}^{2n}(-1)^{k-1} \times \frac{y_p - y_{ik}}{(x_p-x_{ik})^2 + (y_p-y_{ik})^2}\cdot\vec{e}_y. \quad (8)$$

Die komplexen Feldstärkekomponenten $\vec{\underline{E}}_x$ und $\vec{\underline{E}}_y$ bilden die Grundlage für die Beschreibung des resultierenden komplexen Feldstärkevektors des für den Fall von Drehstromsystemen elliptischen Drehfeldes [9]. Im Bild 2 wird das elektrische Feld einer Dreileiteranordnung im Bereich sich schneidender leitfähiger Ebenen durch Äquilinien von E_{max} (Betrag der großen Halbachse des elliptischen Drehfeldvektors) dargestellt.

2.2. Beschreibung polygonaler Begrenzungen durch Anwendung des Schwarz-Christoffelschen Abbildungssatzes

Um sich bei der mathematischen Beschreibung den realen Verhältnissen weiter anzunähern, ist es erforderlich, den infiniten Charakter der Ausdehnung der Begrenzungsflächen abzubauen. Ein Schritt in diese Richtung läßt sich mit einer weiteren klassischen Methode — der Methode der konformen Abbildungen — erzielen. An dieser Stelle nur ein paar einführende Erläuterungen zum Hintergrund dieser Methode.

Ein Polygon in der komplexen Ebene z wird durch den Schwarz-Christoffelschen Abbildungssatz auf die reelle Achse der komplexen t-Ebene abgebildet (s. Bild 3). Das beinhaltet kurz gesagt die Lösung der gleichnamigen Differentialgleichung

$$\frac{dz}{dt} = S\cdot(t-a)^{(\alpha/\pi)-1}\cdot(t-b)^{(\beta/\pi)-1}\cdot(t-c)^{(\gamma/\pi)-1}\cdot\ldots \quad (10)$$

$a, b, c, \ldots$ — diese Punkte auf der reellen Achse der t-Ebene korrespondieren mit den Winkeln $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ an den Scheitelpunkten des Polygons in der komplexen z-Ebene.

Damit ist man in der Lage, beliebige Punkte der z-Ebene auf die t-Ebene abzubilden und umgekehrt. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß das in der z-Ebene schwierig zu lösende Feldproblem in ein bekanntes, mit geringerem Aufwand lösbares Problem in der t-Ebene transformiert wird (z. B. Linienladung gegenüber leitfähiger Ebene). Eine umfassende Darstellung sowie zahlreiche Beispiele der genannten Aufgabengruppe sind in [7] enthalten. Wie im Abschn. 2.1. sollen kurz die Programmschritte umrissen werden, die ergänzt bzw. gegenüber dem Fall des ungestörten Feldes modifiziert werden mußten:

1. Transformation des Feldproblems von der z-Ebene $(x + j\,y)$ in die t-Ebene $(u + j\,v)$

Für die zu untersuchende Oberflächenkontur ist zunächst die Abbildungsfunktion herzuleiten. Die Kontur — horizontale Ebene (senkrechte Wand) horizontale Ebene — wird wie aus Bild 3 ersichtlich in die z-Ebene gelegt. Die Abbildungsfunktion erhält entsprechend der in [10] aufgezeigten Herleitung die Form

$$z = h_w\sqrt{t^2-1}.$$

Die Größe h_w in dieser Gleichung stellt die Höhe der rechtwinklig zur Erdoberfläche gerichteten Fläche dar. Diese Transformationsvorschrift ist in die Form $u = f(x, y)$ und $v = f(x, y)$ umzuwandeln [10].

2. Aufstellen der Potentialkoeffizientenmatrix G_{ij} und lösen des linearen Gleichungssystems zur Bestimmung der komplexen Ladungen

Das Feldproblem in der z-Ebene wird durch die Feldanordnung — Linienladung gegenüber leitfähiger Ebene — in der t-Ebene beschrieben. Über den Ansatz des logarithmischen Potentials und der Anwendung der Methode der Spiegelung ergibt sich das komplexe (Zeit-Ebene) Potential für beliebige Aufpunkte der t-Ebene aus der Beziehung

$$\underline{\varphi}_p' = \sum_{i=1}^{m}\frac{Q_i}{2\pi\varepsilon_0 l}\ln\left(\frac{\sqrt{(u_p-u_i)^2 + (v_p+v_i)^2}}{\sqrt{(u_p-u_i)^2 + (v_p-v_i)^2}}\right). \quad (11)$$

3. Berechnung der Feldgrößen in beliebigen Aufpunkten $P\,(x, y)$ der z-Ebene

Grundlage für die Berechnung des komplexen Potentials $\underline{\varphi}_p$ bildet die Gleichung (11). Der Aufpunkt P der z-Ebene wird auf den Punkt P' mit den Koordinaten u_p' und v_p' der t-Ebene abgebildet, d. h.

$x_p \rightarrow u_p'\,(x_p, y_p)$ und

$y_p \rightarrow v_p'\,(x_p, y_p)$.

Der Wert des komplexen Potentials $\underline{\varphi}_p'$ im Punkt P' entspricht dem des komplexen Potentials $\underline{\varphi}_p$ im Punkt P der z-Ebene.

Die Beschreibung des resultierenden komplexen Feldstärkevektors wird auf der Grundlage der in diesem Fall numerisch berechneten partiellen Ableitungen von $\underline{\varphi}_p$ vorgenommen. Das Bild 4 verdeutlicht den Einfluß einer rechtwinklig zur Erde gerichteten leitfähigen Fläche mit der Höhe h_w auf den Verlauf der Äquilinien von E_{max}.

3. Ausblick

Anliegen des Verfassers war aufzuzeigen, wie mittels überschaubarer feldtheoretischer Ansätze auch für kompliziertere Feldanordnungen erste theoretische Analysen vorgenommen werden können. Die hier kurz umrissenen Lösungsansätze wurden programmtechnisch umgesetzt. Die Programme sind in TURBO-PASCAL geschrieben und unter MS/DOS-kompatiblen Betriebssystemen auf Personalcomputern mit Grafikbildschirm (z. B. EC 1834) lauffähig.

Fortsetzung auf Seite 174

Entscheidungsproblematik in der Netztechnik

L. Bochanky, KDT; Dresden

1. Entscheidungssituation

In jeder Ebene des Reproduktionsprozesses von Elektroenergienetzen (Bild 1) sind Entscheidungen zu fällen. Die Effektivität der Netze wird dabei vor allem durch die Entscheidungen innerhalb der Planung und Betriebsführung beeinflußt. Als Querschnittsdisziplin erstreckt sich die Netztechnik über diese beiden Fachgebiete einschließlich der zwischen ihnen bestehenden vielfältigen Verflechtungen, siehe Abschn. 1.2.4. in [1]. In der Projektierung und Errichtung werden die Planungsentscheidungen umgesetzt.
Die Entscheidungssituation in der Netztechnik ist vorrangig durch

— Begrenzung der Investitionskapazität
— Existenz mehrerer Teilziele
— Bestehen von Ungewißheiten

gekennzeichnet.
Über die Begrenzung der *Investitionskapazität* (materiell, finanziell, personell) darf im Interesse realistischer Entscheidungen nicht hinweggesehen werden, siehe Abschn. 2.1.2. in [1]. Diesem Zwang ist so Rechnung zu tragen, daß bei Einzelmaßnahmen ein möglichst niedriger Kapazitätseinsatz erfolgt. Je besser dies gelingt, desto größer wird die Anzahl der durchführbaren Einzelmaßnahmen (der Realisierungsumfang), und desto besser werden die Aufgaben von Netzausbau, -rekonstruktion und -betrieb in ihrer Gesamtheit mit der verfügbaren Kapazität gelöst.
Wesentliche *Teilziele* sind in der Tafel 1 genannt. Das Teilziel 1 folgt aus der Investitionskapazität, während das Teilziel 2 den Notwendigkeiten der rationellen Energieanwendung entspringt. Die Teilziele 3 bis 5 repräsentieren Anforderungen der Kunden. Die Teilziele 6 bis 8 berücksichtigen Belange der Betriebsführung. Das Teilziel 9 beachtet die Mitverantwortung des Netztechnikers für die Umwelt. Die Teilziele sind gegenseitig neutral, kooperieren oder konkurrieren. In der Tafel 1 ist die Konkurrenzsituation, das Hauptproblem bei mehrzielorientierten (mehrkriteriellen) Entscheidungen, eingetragen. Konkurrenz zwischen Teilzielen bedeutet, daß eine verbesserte Erfüllung eines Teilzieles zwangsläufig eine verschlechterte Erfüllung anderer Teilziele zur Folge hat. Entscheidungen bei konkurrierenden Teilzielen sind daher, wenn sie sachgemäß gefällt werden, immer Kompromißentscheidungen (Abschn. 12. in [2]; Abschn. 2. in [3]).
Nach Tafel 1 bestehen die Konkurrenzen Teilziele 1, 7 zu Teilzielen 2, 3, 4, 5, 8 sowie Teilziel 1 zu Teilzielen 6, 9. Die nicht vorhandene oder unwesentliche Konkurrenz Teilziel 1 zu Teilziel 7 erklärt sich daraus, daß bei kleinerem Investitionsaufwand und dadurch geringerem Betriebsmittelbestand (z. B. weniger und/oder einfachere Schalt- und Schutzeinrichtungen) auch der Instandhaltungsumfang kleiner ist. Die Teilziele 1 und 7 kooperieren somit. Das erlaubt, die folgenden Betrachtungen auf die Konkurrenz Teilziel 1 zu Teilzielen 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 zu konzentrieren.
Das Bestehen von *Ungewißheiten* ergibt sich aus dem Charakter der für netztechnische Entscheidungen erforderlichen Eingangsdaten, wie Leistungsbedarfsentwicklung in einem 30jährigen Planungszeitraum. Diese Ungewißheiten müssen als gegeben hingenommen und geeignet verarbeitet werden [2] [4] [5] [6], Abschn. 7.7. in [1].

Doz. Dr. sc. techn. *Lutz Bochanky*, VEB Energiekombinat Dresden.

2. Entscheidungsmethodik

Die Suche optimaler Varianten für netztechnische Maßnahmen entspricht gemäß der dargestellten Entscheidungssituation der Lösung eines mehrzielorientierten und ungewißheitsbehafteten Problems.
Für die Lösung derartiger Probleme bietet die Entscheidungstheorie Ansätze [2] [3] [4] [5]. Allerdings ist es gegenwärtig noch so, daß der mit der Anwendung verbundene Arbeitsaufwand und das erforderliche Spezialwissen hoch sind. Sie bleiben deshalb zunächst vor allem Grundsatzuntersuchungen an relativ abgegrenzten Problemen vorbehalten. Als Beispiel sei auf [6] verwiesen.
Für die Breitenanwendung empfiehlt sich eine vereinfachte, aber trotzdem auf Grundgedanken der Entscheidungstheorie beruhende Vorgehensweise, die nachfolgend beschrieben wird.
Die Vorgehensweise entspricht im Ablauf dem einer netztechnischen Aufgabenlösung nach [1, Abschn. 2.2.2.]. Die *Teilziel-Erfüllungsgrade* werden danach in folgender Reihenfolge festgelegt:

1. Für die Teilziele 3, 4 und 5 im Schritt „Ermittlung der Anforderungen"
2. Für die Teilziele 6, 7, 8 und 9 im Schritt „Zusammenstellung von möglichen Varianten". Eine mögliche Variante muß die festgelegten Erfüllungsgrade der Teilziele 3 bis 9 realisieren und prinzipiell ausführbar sein.
3. Für die Teilziele 1 und 2 im Schritt „Suche der optimalen Variante" innerhalb der möglichen Varianten (der Variantenmenge). In diesem Schritt können auch noch Verbesserungen der unter 1. und 2. formulierten Mindestziele erfolgen [1, Abschn. 7.6].

Entsprechend der im Abschnitt 1. dargestellten Situation ist bei der Festlegung der Erfüllungsgrade der *Teilziele 3 bis 9* (mit Ausnahme des Teilziels 7) insbesondere die Konkurrenz zu Teilziel 1 zu beach-

Tafel 1. Teilziele bei Maßnahmen der Netztechnik

1	Investitionsaufwand ↓	–								
2	Netzverlustaufwand ↓	●	–							
3	Leistungsbedarfsdeckung ↑	●	○	–						
4	Versorgungszuverlässigkeit ↑	●	○	○	–					
5	Elektroenergiequalität ↑	●	○	○	○	–				
6	Gefährdung ↓	●	○	○	○	○	–			
7	Instandhaltungsumfang ↓	○	●	●	●	●	○	–		
8	Bedienungserschwernisse ↓	●	○	○	○	○	○	●	–	
9	Umweltbeeinträchtigung ↓	●	○	○	○	○	○	○	○	–
	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9

↓ niedrig
↑ hoch
● Konkurrenz
○ keine oder unwesentliche Konkurrenz

Fortsetzung von Seite 173

Die Erstellung von Äquilinienbildern (s. Bild 2 und Bild 4) erfolgt durch interaktive Arbeitsweise auf dem Grafikbildschirm. Der Ansatz in Abschn. 2.2. kann leicht für die Beschreibung anderer Oberflächenprofile (Einfluß eines Waldes parallel zur Freileitungstrasse) in ihrer Wirkung auf die sich ausbildende Feldstruktur angepaßt werden.

Literatur

[1] *Kröber, Th.; Winkler, H.:* Weiterentwickelter Feldaufnehmer für Spannungswarngeräte. Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig, (1989) 16, S. 35–43
[2] *Winkler, H.; Kröber, Th.;* u.a.: Erprobungsergebnisse eines Feldstärke-Meßgerätes unter realen Einsatzbedingungen. Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig, (1989) 16, S. 44–53
[3] *Cariou, F.:* Un dispositif toujours reinvente/Le detecteur de proximite de lignes electriques aeriennes. Cah. com. Boulogne-Billancourt (1988) 4, S. 6–9
[4] *Junghans, H.; Kulpe, A.:* Studie über feldverzerrende Einflußfaktoren. Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig, (1989) 16, S. 54–60
[5] *Hafner, Ch.:* Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder (Grundlagen, Methoden, Anwendungen). Berlin – Heidelberg: Springer Verlag 1987
[6] *Ollendorf, F.:* Potentialfelder der Elektrotechnik. Berlin: Verlag v. Julius Springer 1932
[7] *Binns, K. J.; Lawrenson, P. J.:* Analysis and computation of electric and magnetic field problems. pergamon press, second edition, 1973
[8] *Philippow, E.:* Grundlagen der Elektrotechnik. Berlin: Verlag Technik 1988
[9] *Junghans, H.; Winkler, H.; Szuba, M.:* Theoretische Analyse des elektrischen Feldes beliebiger Freileitungssysteme – Modellbildung. ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 350–352
[10] *Junghans, H.:* Systematisierung und Bewertung der Einflußgrößen des elektrischen Feldes von Freileitungen sowie signalverfälschender Faktoren auf die Aussagesicherheit bzw. Zuverlässigkeit von Spannungswarngeräten. Entwurf zur Dissertationsschrift A, TH Leipzig

EA 6135

ten. Hierfür dienen nachstehende Kriterien, die kombiniert anzuwenden und als Entscheidungshilfen mit Ermessungsspielraum aufzufassen sind:

• Zumutbarkeitskriterium

Da wegen der erforderlichen Kompromißentscheidungen jedes Teilziel nur bis zu einem gewissen Grad erfüllbar ist, können unerwünschte Ereignisse, wie Versorgungsunterbrechungen beim Teilziel 4, nicht ausgeschlossen, sondern nur auf ein zumutbares Maß begrenzt werden. Das Zumutbarkeitskriterium besagt, daß es zur Festlegung dieses Maßes erforderlich ist, Auswirkungen *und* Wahrscheinlichkeiten unerwünschter Ereignisse zu betrachten. Nicht selten wird der Fehler begangen, nur über Auswirkungen zu diskutieren und damit nicht nach der Wahrscheinlichkeit, insbesondere der des Wiederholungsfalles, zu differenzieren. Das Zumutbarkeitskriterium hat Bezüge zur Risikoproblematik [2, Abschn. 11.] [5].

• Sensibilitätskriterium

Es beruht darauf, daß oft eine weitere Verbesserung eines Teilziels nur durch die unverhältnismäßige Verschlechterung eines anderen Teilziels erreichbar ist. Dieses Sensibilitätsverhalten ist bei der Kompromißbildung zu berücksichtigen, indem Bereiche extremer Verschlechterung vermieden werden. Das Sensibilitätskriterium lehnt sich an die Methode der kriteriellen Analyse an, die auch gut zur Untersuchung des Einflusses von Ungewißheiten auf Optimierungsergebnisse geeignet ist (Stabilitätsbetrachtungen, siehe Abschnitt 13.2. in [2]).

• Vergleichskriterium

Hilfreich bei der Festlegung von Teilzielerfüllungsgraden sind Vergleiche, z. B. zur Vergangenheit, zu anderen Energieversorgungsunternehmen, zu anderen Ländern.

Die *Teilziele 1 und 2* werden über die aus [1] Abschnitt 3.3. bekannte Gleichung verknüpft:

$$G = G_I + G_V \rightarrow \text{Min} \qquad (1)$$

G Aufwand; G_I Investitionsaufwand; G_V Netzverlustaufwand

Eine Erweiterung von (1) in der Form, daß auch für andere Teilziele der Aufwand in Abhängigkeit von der Teilzielerfüllung erfaßt wird, wirft im Vergleich zur Anwendung der genannten Entscheidungshilfen große Probleme auf. Dies ist am Beispiel des Teilziels 4 aus [1, Abschn. 3.3.6.] und [6] ersichtlich.

3. Entscheidungsdurchsetzung

Nach Bild 2 geht der mögliche Realisierungsumfang von netztechnischen Maßnahmen mit kleiner werdender Investitionskapazität sowie wachsenden Forderungen zur Teilzielerfüllung zurück. Der Einfluß der wachsenden Forderungen spiegelt die in den Abschnitten 1. und 2. herausgearbeitete dominierende Konkurrenz Teilziel 1 zu anderen Teilzielen wider. Des weiteren ist aus Bild 2 zu erkennen, daß der mit wachsenden Forderungen zur Teilzielerfüllung zurückgehende mögliche Realisierungsumfang von einem Anstieg des erforderlichen Realisierungsumfanges begleitet wird. Dieser Anstieg repräsentiert die bei wachsenden Forderungen anfallenden Zusatzmaßnahmen. Ausgehend von diesen Zusammenhängen sollen nunmehr Schwierigkeiten bei der Durchsetzung von nach Abschnitt 2. erarbeiteten Entscheidungsvorschlägen diskutiert und Wege zu ihrer Zurückdrängung aufgezeigt werden. Schwierigkeiten können sich insbesondere durch

— Begrenzung der Investitionskapazität
— Maximalforderungen zum Erfüllungsgrad von Teilzielen

ergeben.

Aus der Begrenzung der *Investitionskapazität* entstehen Schwierigkeiten, wenn der erforderliche Realisierungsumfang, welcher auf kompromißorientierten Forderungen F_0 zur Teilzielerfüllung beruht, größer als der mögliche Realisierungsumfang ist. In einem solchen Fall ergibt sich über F_0 ein offener Realisierungsumfang ΔR (Bild 2). Er führt zu zeitlichen Verschiebungen oder dem Wegfall von Ausbau- und Rekonstruktionsmaßnahmen, die aus der Sicht der Entscheidungsmethodik und darauf beruhender Empfehlungen (siehe z. B. [1, Teil B]) begründet wurden. Für das Zurückdrängen des gegenwärtigen zu verzeichnenden offenen Realisierungsumfanges über F_0 sind aus Bild 2 drei Wege erkennbar:

1. Erhöhung der Investitionskapazität.
Dieser Weg war in der Vergangenheit an die zentral gesteuerte Verteilung des gesamtvolkswirtschaftlichen Leistungsvermögens gebunden. Unter marktwirtschaftlichen Bedingungen eröffnen sich jetzt günstigere Ansätze für eine Erhöhung.

2. Tiefere Durchdringung der Entscheidungsprobleme in Grundsatzuntersuchungen und konsequente Anwendung der Ergebnisse in der ingenieurpraktischen Arbeit.
Das Beschreiten dieses Weges ist eine ständige Aufgabe, wobei zwei Aspekte zu beachten sind. Einmal geht es darum, den Investitionsaufwand zum Erreichen der kompromißorientierten Erfüllungsgrade der Teilziele 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 zu senken und dadurch die Kurve $R_m = f(F, K)$ im Bild 2 nach oben zu verschieben. Zum anderen sind die kompromißorientierten Forderungen F_0 zur Teilzielerfüllung mittels tieferer Durchdringung der Konkurrenzsituation dahingehend zu überprüfen, ob sie nach den Kriterien des Abschnittes 2. begründet reduziert und dadurch im Bild 2 nach links verschoben werden können.

3. Reduzierung von Forderungen zur Teilzielerfüllung von F_0 auf F_K ausschließlich unter dem Gesichtspunkt, eine Anpassung des erforderlichen an den möglichen Realisierungsumfang zu bewirken.
Dieser Weg negiert den Kompromißgedanken. Er führt in der Endkonsequenz zu einer reinen Investitionsaufwandminimierung unter Nichtbeachtung der anderen Teilziele, was wegen der einschneidenden Folgen nicht zu verantworten ist. Außerdem wäre ein auf diese Weise eliminierter offener Realisierungsumfang schon deshalb bedenklich, weil damit Anstöße für Weg 1 entfallen.

Wenn *Maximalforderungen* erhoben werden, verstärken sich Schwierigkeiten, die aus begrenzter Investitionskapazität entstehen, unnötigerweise in hohem Maße. Maximalforderungen F_M sind dadurch gekennzeichnet, daß sie Erfüllungsgrade von Teilzielen fordern, die oberhalb der kompromißorientierten Erfüllungsgrade einschließlich deren Ermessensspielräumen liegen. Dadurch lösen sie sich von den in den Abschnitten 1. und 2. angedeuteten theoretischen Grundlagen und von den praktischen Realisierungsmöglichkeiten. Ausdruck von Maximalforderungen oder Anlaß zu solchen Forderungen sind z. B. Formulierungen wie „minimale Netzverluste" beim Teilziel 2, „unterbrechungsfreie Versorgung" beim Teilziel 4, „gefährdungsfrei" beim Teilziel 6 oder „erschwernisfrei" beim Teilziel 8. Die Maximalforderungen verletzen die Kriterien zur Kompromißfindung nach Abschnitt 2. in der Form, daß nur Auswirkungen, aber keine Wahrscheinlichkeiten betrachtet werden (Zumutbarkeitskriterium), das Aufwand-Nutzen-Verhältnis unbeachtet bleibt (Sensibilitätskriterium) oder Vergleiche unterlassen werden (Vergleichskriterium). Die Konsequenz von Maximalforderungen besteht, wenn ihnen gefolgt wird, in einem drastischen Anstieg des offenen Realisierungsumfanges. Im Bild 2 ist das durch Schraffur deutlich gemacht. Dies kann ungenügend fundierte Gegenreaktionen auslösen, die letztlich zu Teilziel-Erfüllungsgraden unterhalb des Kompromisses und damit zu nichtoptimalen Lösungen für netztechnische Maßnahmen führen.
Für das Zurückdrängen von Maximalforderungen sind folgende Aktivitäten dienlich:

1. Herausbildung und Anwendung einer gesamtheitlichen (systemtechnischen) Denkweise, die *alle* relevanten Teilziele im Auge behält und dadurch über das eigene, oft sehr spezielle Arbeitsgebiet hinausreicht.
2. Wahrnehmen einer fachmännischen Aufklärungspflicht bei Unkenntnis oder beim Ignorieren der dargestellten Zusammenhänge. Das ist z. B. hinsichtlich des Zumutbarkeitskriteriums nach unerwünschten Ereignissen erfahrungsgemäß schwierig, aber notwendig.
3. Sicherung einer kompetenten Kompromißentscheidung aus der darüberliegenden Leitungsebene bei sonst nicht ausräumbaren Differenzstandpunkten.

4. Beispiele

Die folgenden Beispiele gehen auf Kompromißlösungen zwischen konkurrierenden Teilzielen ein. Bezüglich Einzelheiten wird auf die jeweils genannte Literatur verwiesen. Die Beispiele beziehen sich auf öffentliche Niederspannungs-(NS) und Mittelspannungs (MS) — Netze, und sie konzentrieren sich auf die nach Abschn. 1. dominierende Konkurrenz Teilziel 1 zu Teilzielen 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9.

• Teilziel 1 zu Teilziel 2

Unter den Varianten, welche Teilziele 3 bis 9 hinreichend erfüllen, ist nach (1) die Variante mit dem geringsten Aufwand zu suchen [1, Abschn. 7.5]. Das Verhältnis zwischen Investitions- und Netz-

verlustaufwand in dieser Variante entspricht dem Kompromiß zwischen den beiden Teilzielen.
Es kommt insbesondere bei niedrigen Benutzungsstundenzahlen der Höchstlast vor, daß die nach (1) wünschenswerte Jahreshöchstbelastung von Betriebsmitteln über deren Belastbarkeit liegt. Dies gilt vor allem dann, wenn die Belastbarkeit im Normalbetrieb auch durch eine erforderliche Reservehaltung für den Störlastbetrieb bestimmt ist. Eine solche Situation führt zu einem ungünstigen Kompromiß, und zwar zu Lasten des Teilzieles 1. Das begründete Hinausschieben von Belastbarkeitsgrenzen, wie es durch die Ergebnisse in [7] und [8] möglich war, hat zu einer besseren Kompromißbildung beigetragen. Aus dem Netzverlustaufwand im Kompromißfall resultieren die optimale (nicht minimale) Verlustleistung und -arbeit. Beide stellen sich ein, wenn im Bild 2 $\Delta R = 0$ über F_0 gilt. Existiert über ein F_0 offener Realisierungsumfang, der sich, wie fast immer, auch auf verlustbeeinflussende Maßnahmen bezieht, so ergeben sich zwangsweise Netzverluste oberhalb der optimalen Werte [1, Abschn. 7.8.]. (1) gilt auch für Maßnahmen, die wie die Blindleistungskompensation nahezu ausschließlich auf die Netzverlustsenkung gerichtet sind [9].

• Teilziel 1 zu Teilziel 3

Die Leistungsbedarfsprognose ist stets mit Ungewißheiten behaftet [1, Abschn. 6.2.]. Weder das Zumutbarkeits- noch das Sensibilitätskriterium nach Abschn. 2. gestatten eine Netzbemessung und damit Investitionsaufwände, die eine volle Leistungsbedarfsdeckung an der oberen Grenze des Ungewißheitsbereiches gewährleisten.
Ein Beispiel für die Anwendung dieser Kriterien ist die Behandlung der sehr ungewissen und durchweg zu hohen Leistungsbedarfsanmeldungen von Kunden (siehe Abschn. 6.2.4. in [1]) nach [10]. Diese Anmeldungen enthalten die Höchstleistung P_{max} und die installierte Leistung P_i, woraus sich ein Anmeldebedarfsfaktor $b_A = P_{max}/P_i$ ergibt. Dieser wird mit Kontrollwerten b_K, die für die einzelnen Kundengruppen vorliegen [10], verglichen. Folgt daraus $b_A > b_K$, so ist auf eine Reduzierung der angemeldeten Höchstleistung hinzuwirken. Die Kontrollwerte wurden so festgelegt, daß das unerwünschte Ereignis, bei dem der nach Inbetriebnahme tatsächlich auftretende Bedarfsfaktor größer als b_K ist, auf eine 5 %ige Wahrscheinlichkeit limitiert wird. Im übrigen werden für die Leistungsbedarfsprognose in vorgeordneten Netzen wegen der Ausgleichseffekte die Mittelwerte der Bedarfsfaktoren [10] bedeutsam.

• Teilziel 1 zu Teilziel 4

Hohe Versorgungszuverlässigkeit wird durch niedrige Werte ihrer Kenngrößen Häufigkeit und/oder Dauer von Versorgungsunterbrechungen symbolisiert [1, Abschn. 3.2.]. Diese Kenngrößen können durch die einzelnen Ebenen des Reproduktionsprozesses (Bild 1) und durch die Qualitätssicherung beim Hersteller der Betriebsmittel vielfältig beeinflußt werden. An dieser Stelle soll auf das Beispiel der Konkurrenz der Unterbrechungsdauer zu Teilziel 1 eingegangen werden.
Es existieren durch Zumutbarkeits-, Sensibilitäts- und Vergleichskriterium begründete Normative, welche je nach ausgefallenem Betriebsmittel Unterbrechungsdauern innerhalb bestimmter Unterbrechungsdauerklassen zulassen [1, Abschn. 6.3.]. Danach dürfen z. B. bei Ausfällen von MS/NS-Transformatorstationen, NS-Leitungen und MS-Stichleitungen die Versorgungsunterbrechungen bis zum Abschluß der Instandsetzungsarbeiten andauern, während bei Ausfall eines 110-kV/MS-Transformators im Umspannwerk eine Unterbrechungsdauer nur bis in den Minutenbereich akzeptiert wird. Der Kompromiß ist dadurch gekennzeichnet, daß bei kleinen Auswirkungen (kleiner Ausfall-Leistung) größere Unterbrechungsdauern hingenommen werden, was im Interesse von Teilziel 1 die Schaffung von Umschaltmöglichkeiten erspart und dadurch auch das NS-Strahlennetz ermöglicht [1, Abschn. 8.3.2.].
Eine unterbrechungsfreie Versorgung ist schon technisch und nicht nur aus der Sicht der Kompromißnotwendigkeit ausgeschlossen. Lediglich für ganz wenige ausgewählte Kunden kann eine nahezu unterbrechungsfreie Versorgung realisiert werden (Abschn. 9.8.2. in [1]).

• Teilziel 1 zu Teilziel 5

Eine Kenngröße der Elektroenergiequalität ist die Spannungsabweichung am Abnahmepunkt. Sie wird vor allem durch die Begrenzung der Spannungsfälle in den vorgeordneten Betriebsmitteln im zulässigen Toleranzbereich gehalten (Abschn. 4.2.1. in [1]). Aus diesem Begrenzungserfordernis können Belastbarkeitseinschränkungen mit den gleichen Konsequenzen entstehen, wie sie im Beispiel Teilziel 1 zu Teilziel 2 geschildert wurden. Ein begründetes Hinausschieben von zulässigen Spannungsfällen ist deshalb von ähnlicher Bedeutung.
Im Ergebnis von [11] war es z. B. sogar möglich, für Installationsleitungen in Wohngebäuden in städtischen Gebieten auf die Begrenzung von Spannungsfällen ganz zu verzichten, wodurch eine Halbierung der zu wählenden Leiternennquerschnitte möglich wurde (Abschn. 8.2.3. in [1]). Eine Überschreitung der zulässigen Spannungsabweichungen ist dadurch nur bei einem kleinen Teil der Haushalte und — bedingt durch die Form der Belastungsganglinie — nur innerhalb kurzer Zeiträume praktisch unmerklich zu erwarten. Eine solche Überschreitung ist nach dem Zumutbarkeitskriterium vertretbar.

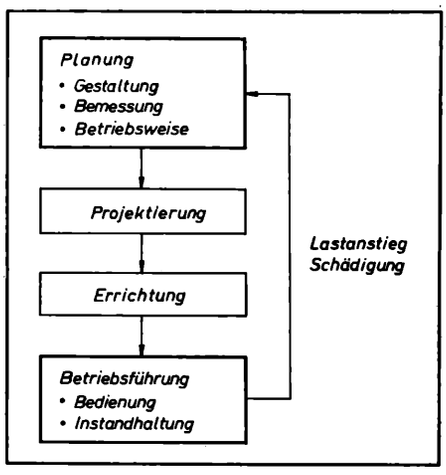


Bild 1
Reproduktionsprozeß in Elektroenergienetzen (stark vereinfacht). Anmerkung: Rücksprung in die Planung erfolgt, wenn der Lastanstieg Belastbarkeitsgrenzen verletzt und/oder die Schädigung durch Maßnahmen der Instandhaltung nicht kompensierbar ist

• Teilziel 1 zu Teilziel 6

Bei der Gefährdung von Personen und Sachwerten bedarf die Personengefährdung einer besonders verantwortungsvollen Betrachtung. Einzubeziehen ist dabei die Tatsache, daß eine solche Gefährdung nicht generell ausschließbar, sondern nur begrenzbar ist. Eine Gefährdungsfreiheit würde den unfehlbaren Menschen voraussetzen, dem zudem unbegrenzte Mittel zur Verfügung stehen müßten [12]. Die Gefährdungsbegrenzung erfolgt durch Vorschriften, die aber nicht jeden speziellen Gefährdungsfall enthalten und von denen mit eingehender Begründung mitunter Abweichungen erwirkt werden können [13]. Dadurch verbleibt auch hier ein Feld für Kompromißentscheidungen.
Die Berechnung und Bewertung von Gefährdungen ist aus Abschn. 11. in [2] [5] [13] Abschn. 3.4. und 4.1.3. in [1] mit Beispielen ersichtlich. Die Bewertung bedient sich auch dort der Kriterien nach Abschn. 2. So ist z. B. nach dem Sensibilitätskriterium größeren Gefährdungsreduzierungen mit geringem Aufwand der Vorzug gegenüber kleinen Gefährdungsreduzierungen mit hohem Aufwand zu geben. Eine solche Kompromißsuche ist im Vergleich zu formalen und undifferenzierten Vorgehensweisen besser geeignet, die Gefährdung insgesamt hinreichend klein zu halten. Sie dient damit den ethischen Erfordernissen. Gegenwärtig ist es leider noch so, daß die Bewertungsmöglichkeiten zu wenig genutzt und mitunter auch ignoriert werden.

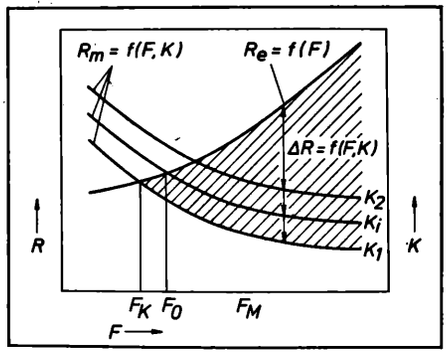


Bild 2
Zusammenhänge zwischen Forderungen zur Teilzielerfüllung, Investitionskapazität und Realisierungsumfang

F Forderungen zur Teilzielerfüllung (Teilziele 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9); F_0 Forderungen die kompromißorientiert sind; F_K Forderungen, die ausschließlich an der Investitionskapazität orientiert sind; F_M Forderungen, die Maximalforderungen sind ($F_M > F_0$); K Investitionskapazität; K_i Investitionskapazität in idealer Größe (ermöglicht $\Delta R = 0$ über F_0); R Realisierungsumfang (Summe aller Ausbau- und Rekonstruktionsmaßnahmen); R_e erforderlicher Realisierungsumfang; R_m möglicher Realisierungsumfang; ΔR offener Realisierungsumfang, $\Delta R = R_e - R_m$ (schraffiert für Fall $K = K_1 < K_i$)

• Teilziel 1 zu Teilziel 8

Diese Konkurrenzsituation steht mit der Notwendigkeit vereinfachter netztechnischer Lösungen im engen Zusammenhang. Vereinfachungen liegen im Interesse von Teilziel 1. Sie verschlechtern aber meist durch das Auftreten von Bedienungserschwernissen das Teilziel 8. Welche Erschwernisse im Rahmen des Kompromisses tragbar sind, ist wiederum nach dem Zumutbarkeits-, Sensibilitäts- und Vergleichskriterium entsprechend Abschn. 2. zu untersuchen.

Von vielen Vertretern der Betriebsführung werden Vereinfachungen und damit verbundene Bedienungserschwernisse trotz des Vorteils der Verbesserung von Teilziel 7 nicht akzeptiert. Die Ursachen sind vielfältig und bedürfen einer Zurückdrängung. Zu ihnen gehören mangelnder Einblick in die Zusammenhänge nach Abschn. 3. und die daraus resultierende Forderung „erschwernisfrei" und/oder fehlende personelle und materielle Möglichkeiten zur Bewältigung von Erschwernissen. Ein Beispiel ist die vereinfachte MS/NS-Transformatorkabelstation, die durch Wegfall der MS-Leitungsschalter gekennzeichnet ist. Obwohl wiederholt nachgewiesen wurde, daß sie bei Wahrung bestimmter Einsatzkriterien als Kompromißlösung von Teilziel 1 zu Teilziel 8 und außerdem zu Teilziel 4 gerechtfertigt und von der Grundschaltung her auch repräsentiert ist Abschn. 9.7.5. in [1] [6] [14], konnte sie sich in der DDR bisher nicht durchsetzen. Das liegt allerdings auch an der noch fehlenden konstruktiv ausgereiften und industriell gefertigten Ausführung für diese Einfachtechnik.

• Teilziel 1 zu Teilziel 9

Umweltbeeinträchtigungen entstehen durch Umspannwerke, Transformatorstationen und Freileitungen. Eine Kompromißbildung ist gemäß Sensibilitätskriterium so anzustreben, daß wesentliche Beeinträchtigungsminderungen mit geringem Investitionsaufwand erzielt werden, wofür es eine Reihe von Möglichkeiten gibt [15]. Speziell zu NS-Freileitungen existiert eine nach (1) aufwandsgleiche (nicht investitionskostengleiche) Alternative in Form von NS-Kabeln, allerdings mit den bekannten Realisierbarkeitseinschränkungen Abschn. 8.5.1. in [1].

5. Zusammenfassung

Die Entscheidungssituation in der Netztechnik ist durch begrenzte Investitionskapazität, Existenz mehrerer Teilziele und Ungewißheiten geprägt. Hierzu wird eine Entscheidungsmethodik vorgestellt, die für die Breitenanwendung zugeschnitten ist. Auf die Probleme der Kompromißfindung zwischen konkurrierenden Teilzielen und der Durchsetzung kompromißorientierter Entscheidungsvorschläge wird mit Beispielen ausführlicher eingegangen.

Literatur

[1] *Bochanky, L.:* Planung öffentlicher Elektroenergieverteilungsnetze. Gestaltung, Bemessung, Betriebsweise, Netzrückwirkungen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

[2] *Muschick, E.; Müller, P. H.:* Entscheidungspraxis. Ziele, Verfahren, Konsequenzen. Berlin: Verlag Technik 1987

[3] *Ester, J.:* Systemanalyse und mehrkriterielle Entscheidung. Berlin: Verlag Technik 1987

[4] *Bocklisch, F.:* Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren. Berlin: Verlag Technik 1987

[5] *Muschick, E.; Pilz, E.; Berger, F.:* Entscheidungsprobleme in der Elektroenergietechnik. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 10, S. 371–377

[6] *Muschick, E.; Haim, K.-D.; Müller, O.:* Rechnergestützte Optimierung von Anlagen in Energieversorgungsnetzen. Wiss. Berichte TH Zittau 1032 (1989), Vortrag Nr. III/2 zur Wissenschaftlichen Konferenz 1989, Tagungsheft Session III, S. 37–41 sowie CIRED 1989, Bericht Nr. 6.04

[7] *Goldnau, J.:* Untersuchungen zur Belastbarkeit von Öltransformatoren. Elektropraktiker, Berlin 41 (1987) 5, S. 153–156

[8] *Biewald, H.:* Technisch-ökonomische Untersuchung zur Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln in Erde. VEB Energiekombinat Berlin, Bericht Nr. 60-019 – (1983) FE

[9] *Bochanky, L.:* Modellansatz für einen optimalen Blindleistungshaushalt. Energietechnik, Leipzig 39 (1989) 4, S. 146–149

[10] *Bochanky, L.; Fenninger, H.; Schulze, H.:* Kontrollwerte zur Überprüfung von Leistungsbedarfsanmeldungen der Abnehmer. VEB Energiekombinat Dresden, Bericht-Nr. 51-235 – (1987) BE

[11] *Bochanky, L.; Rathenow, R.:* Wahrscheinlichkeitsorientierte Spannungsfallkoordination zwischen Verteilungs- und Installationsnetzen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 5, S. 237–241

[12] *Birkhofer, A.:* Grenzen der Sicherheit in der Technik. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Gräefling 33 (1983) 9, S. 687–694

[13] *Stegemann, G.:* Anwendung von Risikoentscheidungen bei der Bewertung von Überbeanspruchungen in Elektroenergieanlagen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 5, S. 229–232

[14] *Hever, H.-D.:* Das Mittelspannungsnetz in der Elektrizitätsversorgung. etz, Berlin 110 (1989) 17, S. 660–661

[15] *Ambrosch, H.:* Elektroenergieanlagen in unserer Umwelt. Elektropraktiker, Berlin 40 (1986) 11, S. 376–381

EA 6091

Digitale Schutztechnik im Elektroenergiesystem – Programmsytem zur Schutzalgorithmentestung[1)]

H.-J. Herrmann; M. Stanimirov, KDT; Zittau

Die meßtechnischen Eigenschaften des digitalen Schutzes werden entscheidend durch die gewählte algorithmische Umsetzung des Schutzkriteriums bestimmt. Aus den vorangegangenen Beiträgen wird deutlich, daß es zahlreiche Algorithmen mit unterschiedlichem Meßverhalten und Arithmetikaufwand gibt. Es läßt sich schwer ein optimaler Algorithmus finden. Als vorteilhaft hat sich eher die Einordnung in Gruppen, für die unterschiedliche Randbedingungen gelten, erwiesen. Für die Erarbeitung von digitalen Schutzlösungen ist es notwendig, eine Wissensbasis zu schaffen und anwendungsbezogen (z.B. Leistungsvermögen einer modularen Hardware — netzknotenpunktspezifische Bedingungen bzw. Anforderungen) geeignete Algorithmen auszuwählen. Mit dem Beitrag wird ein erweiterbares Programmsystem zur Schutzalgorithmentestung vorgestellt.

1. Algorithmenvorauswahl

In der Schutztechnik haben sich die Prinzipien der Meßgrößen- und Zeitstaffelung sowie des unverzögert wirkenden Meßgrößenvergleichs für die meisten Anwendungsfälle (Generator-, Transformator-, Sammelschienen- und Leistungsschutz) bewährt. Als Schutzkriterien werden am häufigsten benutzt: Strom, Spannung, Impedanz, Stromdifferenz, Phasenwinkeldifferenz, Leistungsrichtungsvergleich, Gegenstrom, Leistung, Harmonische von U, I [1], für die sich zahlreiche numerische Berechnungsverfahren finden lassen. Die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Algorithmen bezüglich der Erfüllung einer objektkonkreten Schutzaufgabe sowie der unterschiedliche Hardwareaufwand zu deren Realisierung erfordern eine systematisierte Auswahl. Als wesentliche Einflußgrößen wirken nach Bild 1:

— Abweichungen der realen Prozeßgrößen $u(t)$, $i(t)$ von ihren sinusförmigen Verläufen
— Merkmale der zeitdiskreten Prozeßgrößenverarbeitung
— Eigenschaften der numerischen Verarbeitung
— Gestaltung der Hard- und Software nach Gesichtspunkten der Modularität und Ökonomie.

Um trotz der engen Verflechtung der Einflußgrößen zu einer wissenschaftlich begründbaren Vorauswahl zu kommen, wurden den Schutzkriterien zugehörige Algorithmen entsprechend dem mathematischen Lösungsansatz in Gruppen eingeteilt und nach einem einheitlichen Schema bewertet. Die tabellarische Ergebniszusammenstellung erlaubt einen schnellen Überblick sowie eine ständige Fortschreibung. Die Übersichten geben für jeden Algorithmus eine Antwort auf folgende Teilfragen [2]:

1. Meßgenauigkeit bei stationären Größen (Einfluß der zeitdiskreten Verarbeitung)
2. Meßgenauigkeit bei Netzfrequenzänderungen (Form der Abtastung)
3. Filterwirkung (Einfluß des nichtsinusförmigen Kurvenverlaufes)
4. Numerischer Aufwand (Hardwareanforderungen).

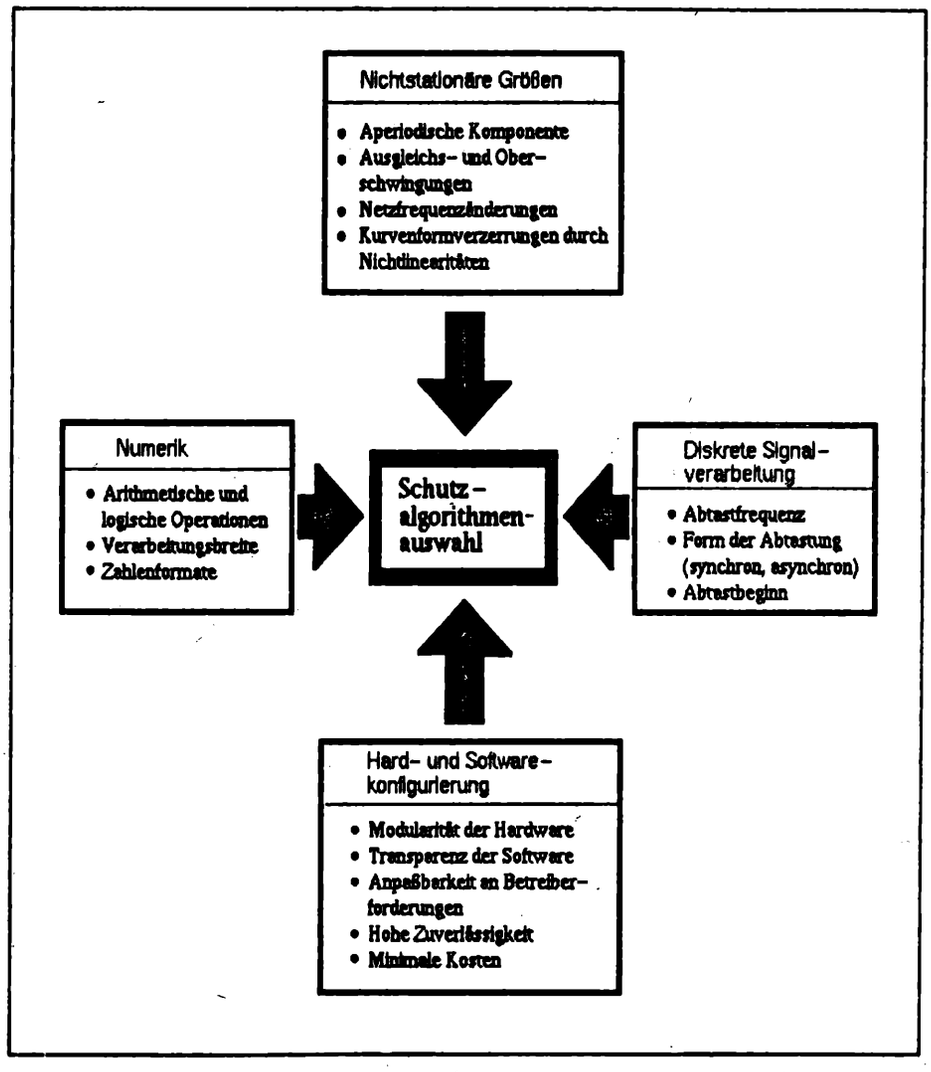
Neben Simulationsrechnungen wurde auch über mathematische Ableitungen das Meßverhalten quantifiziert und gleichzeitig die für den Algorithmus günstigsten Applikationsbedingungen bestimmt. Die Bewertung geschieht durch die Angabe von Fehlergrenzwerten.

Beispielsweise sind im Bild 2 für einen Impedanzmeßalgorithmus entsprechend (12) und (13) aus [3], der unter anderen in der in [12]

Dr.-Ing. *Hans-Joachim Herrmann* ist wissenschaftlicher Oberassistent; Dipl.-Ing. *Michael Stanimirov* ist wissenschaftlicher Assistent an der Technischen Hochschule Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung und Anlagenautomatisierung.

[1)] Die Arbeit entstand im Rahmen eines Auftrages der FG „Elektroenergietransport" (ELTRA) des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau.

Bild 1. Einflußgrößen auf die Schutzalgorithmenauswahl



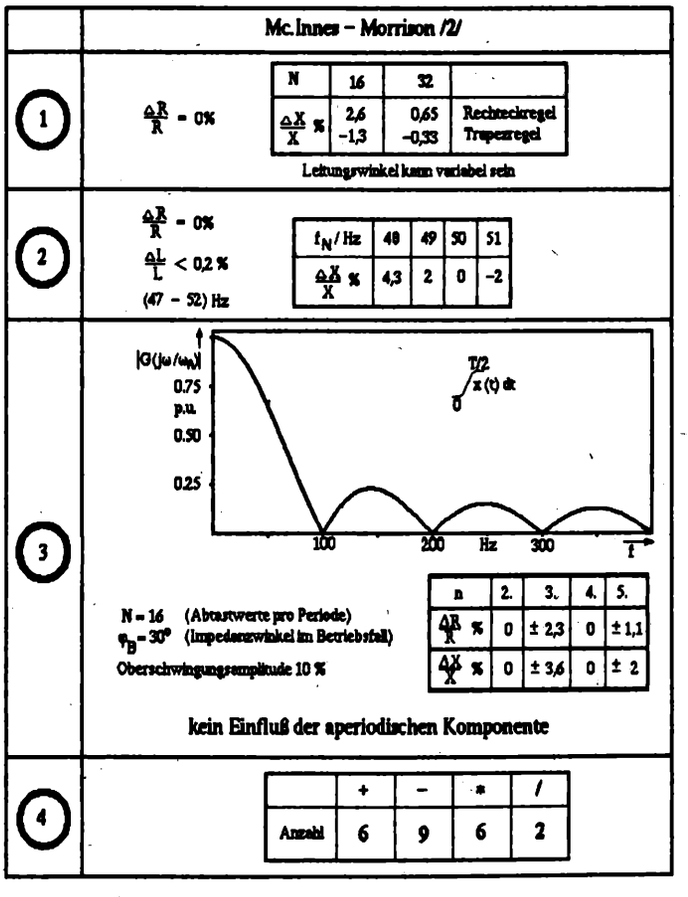


Bild 2. Bewertungsschema zur Algorithmenvorauswahl

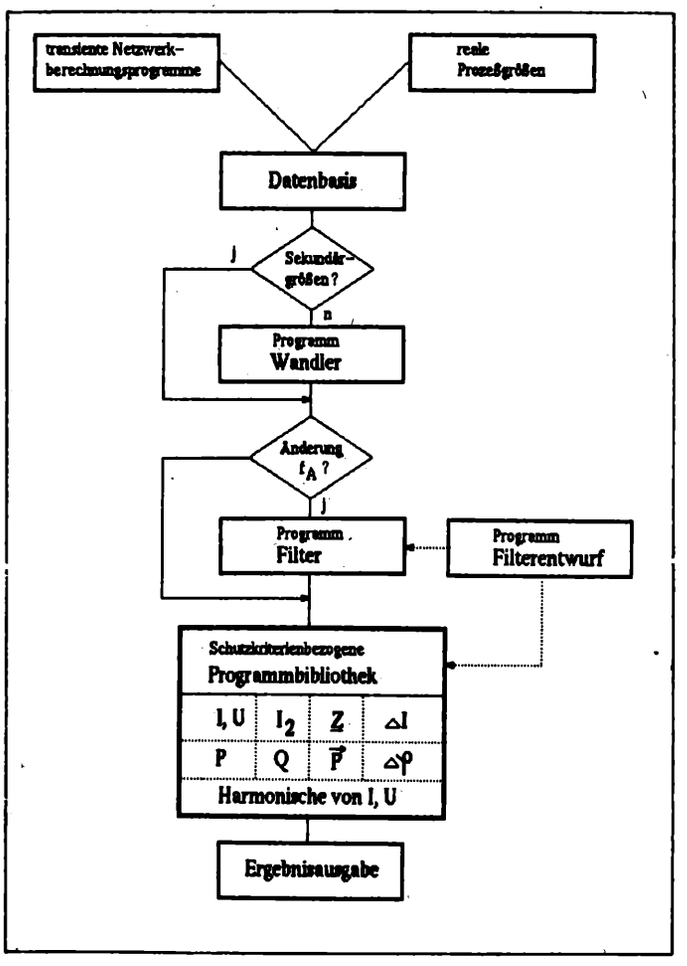


Bild 3. Programmsystem zur Schutzalgorithmentestung ▶

vorgestellten Laborlösung zur Anwendung kam, die Ergebnisse zusammengestellt. Sie erlauben eine prinzipielle Einschätzung des Meßverhaltens und eine Abschätzung des arithmetischen Aufwandes (überprüfende Testrechnungen wurden mit synthetischen Daten durchgeführt).
Mit dieser Untersuchungsmethodik konnte eine Vorauswahl tauglicher Algorithmen vorgenommen werden, deren Praxiseinführung weitere Analysen im Hinblick auf das transiente Verhalten bei gestörten Eingangssignalen und zugleich eine repräsentative Menge überzeugender Testrechnungen verlangt.
Die verfügbare 16-Bit-Arbeitsplatzrechentechnik bietet dafür gute Voraussetzungen.

2. Programmsystem zur Algorithmentestung

2.1. Gewähltes Grundkonzept

Die Funktion des Programmsystems besteht darin, für die implementierten Algorithmen das Meßverhalten bei unterschiedlichen Fehlerbedingungen zu bestimmen, insbesondere den Einfluß überlagerter Störungen zu quantifizieren, problemlos zahlreiche Testrechnungen durchzuführen und Rückschlüsse auf die Parameterwahl (Präzisierung der gewählten Ausgangswerte) wie z. B. Abtastfrequenz, zweckmäßiges Anti-Aliasing-Filter, algorithmenspezifische Koeffizienten u. a. m. zu ziehen.
Die gewählte Programmstruktur zeigt Bild 3. Als Programmiersprache wurde TURBO PASCAL unter einem MS-DOS-kompatiblen Betriebssystem verwendet. Sämtliche Ergebnisausgaben erfolgen grafisch. Die angewendete Window-Technik gewährleistet die Dialogfähigkeit des Programmsystems.
Wie im Bild 3 angedeutet, wird die Datenbasis in Form von abgelegten Dateien aus transienten Netzberechnungsprogrammen und aufgezeichneten Prozeßgrößen (Vorgänge aus physikalischen Netzmodellen bzw. Kurzschlußversuchen in der Praxis) gebildet.
Das Programm WANDLER erlaubt die Berücksichtigung des dynamischen Übertragungsverhaltens des Stromwandlers, um auch den Einfluß der Wandlersättigung auf das Meßverhalten der Algorithmen untersuchen zu können.
Das Programm FILTER ist hauptsächlich dafür vorgesehen, um für die nachfolgende Meßgrößenverarbeitung die Forderungen des Abtasttheorems zu gewährleisten.
Die Gestaltung der Algorithmenbibliothek erfolgt schutzkriterienorientiert, wobei die angegebenen Kriterien den Endausbauzustand charakterisieren. Über den Suchbegriff Schutzkriterium gelangt man zu den abarbeitbaren Algorithmen.
Das Programm FILTERENTWURF ist ein eigenständiges Programm, mit welchem man für unterschiedliche Filtertypen die Koeffizienten des digitalen Filters berechnen kann und als Datei für eine Weiterverarbeitung zur Verfügung stellt.

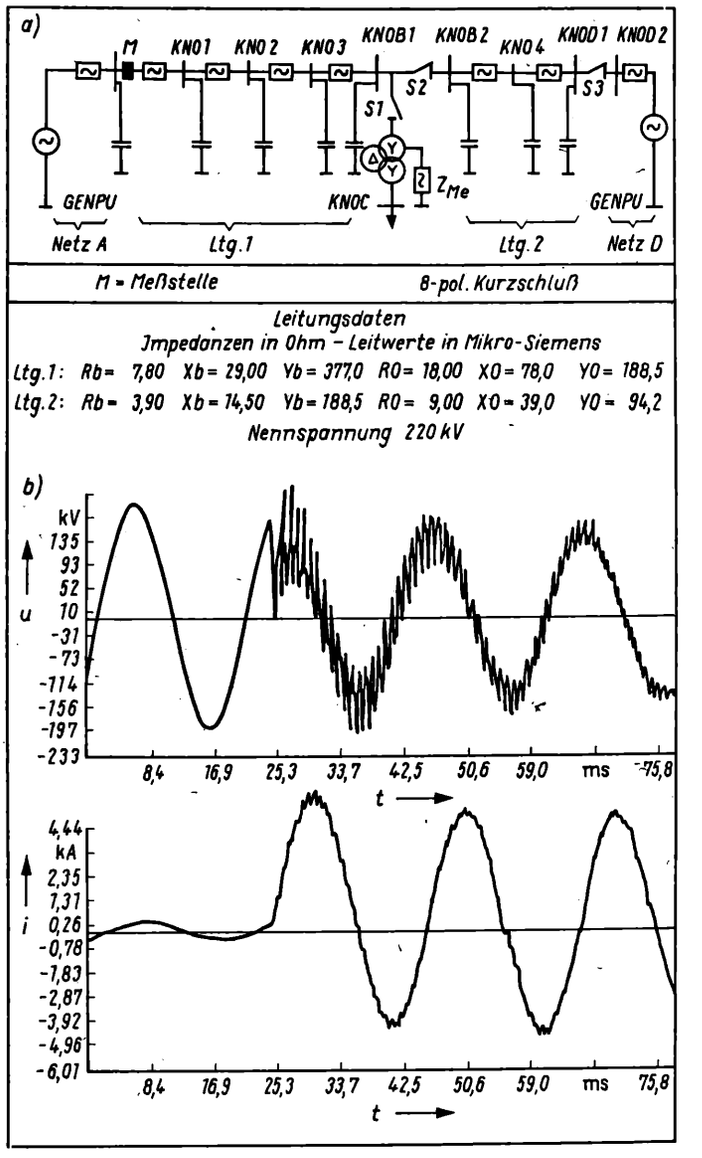


Bild 4a. Testnetz des Programms KUSCH

Bild 4b. Spannungs- und Stromverlauf beim 3poligen KS am Fehlerort KNOB 1 (dargestellt ist Leiter 2)

2.2. Erläuterung der Funktionskomplexe

2.2.1. Datenbasis

Für die Berechnung des transienten Übertragungsverhalten größerer Netze bei unterschiedlichen Fehler- und Einspeisebedingungen existieren zahlreiche Netzberechnungsprogramme. In der DDR ist das von der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, entwickelte Programmpaket „EMMA" für die Arbeitsplatzrechentechnik aufbereitet [4].
In [5] wurden zum Beispiel Daten mit dem Programm ATP (Alternativ Transient Program) generiert.
Im Rahmen der Ableitung von Forderungen an einen Leitungsvergleichsschutz wurde das transiente Netzberechnungsprogramm „KUSCH" geschaffen [6]. Bild 4a zeigt das umgesetzte Netz. Durch deren Einfachheit ist man in der Lage, relativ schnell Testdaten zu erzeugen, im Gegensatz zu größeren Programmsystemen (z. B. EMMA).
Im Bild 4b ist ein Ausschnitt des berechneten Momentanwertverlaufes bei einem dreipoligen Kurzschluß dargestellt.
Als einheitliche Datenschnittstelle wurde das speicherplatzsparende Dateiformat von KUSCH gewählt.
Eine weitere Datenbasis enthält aufgezeichnete Kurzschlußverläufe aus Netzmodellen und der Praxis [7]. Dazu wird u. a. an der TH Zittau ein Transientenrecorder benutzt, der gekoppelt mit einem P 8000 die sofortige Datenarchivierung im KUSCH-Format erlaubt [8]. Bild 5 demonstriert den Strom- und Spannungsverlauf auf einer 220-kV-Leitung bei einem Kurzschlußversuch. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, beliebige synthetisch generierte Daten für die Algorithmentestung zu benutzen, wie beispielsweise in [9] vorgeschlagen wurde. Bedingung ist die Einhaltung des vereinbarten Datenformats.
Synthetische Testdaten erweisen sich als echtes Hilfsmittel bei der Einbindung neuer Algorithmen (zielgerichtete Austestung) in das Programmsystem.

2.2.2. Modellierung des Stromwandlers

Die dynamischen Übertragungsprobleme des Stromwandlers bei stromstarken Fehlern und die daraus resultierenden Probleme für den Schutz sind hinreichend bekannt. Demzufolge ist seine Modellierung bei der Untersuchung von schnellwirkenden Schutzeinrichtungen zwingend.
Dem Programm WANDLER wird die im Bild 6a dargestellte Ersatzschaltung zugrundegelegt, die u. a. auch in [9] und [10] verwendet wird. Die Lösung der nichtlinearen Differentialgleichung erfolgt numerisch. Für die Berücksichtigung der Nichtlinearität ergeben sich zwei prinzipiell gleichwertige Lösungswege: das punktweise Ablegen der Funktion $L_H = f(i_0)$ [9] bzw. $\psi = f(i_0)$ [10].
Im konkreten Anwendungsfall wurde letztere Lösung benutzt und der Programmkern von der TH Leipzig übernommen. Durch die Normierung der Kennlinien auf den Sättigungsfluß und den Kniepunktstrom brauchen lediglich die Kennlinien für die Kernmaterialien Dynamo- und Texturblech abgelegt werden. Bis zum Sättigungsfluß wird die Kennlinie als linear angenommen.
Um unterschiedliche Wandler nachzubilden, müssen folgende Eingabeinformationen bereitgestellt werden:

— Nennübersetzungsverhältnis
— komplexe Bürde
— komplexe sekundäre Streuimpedanz

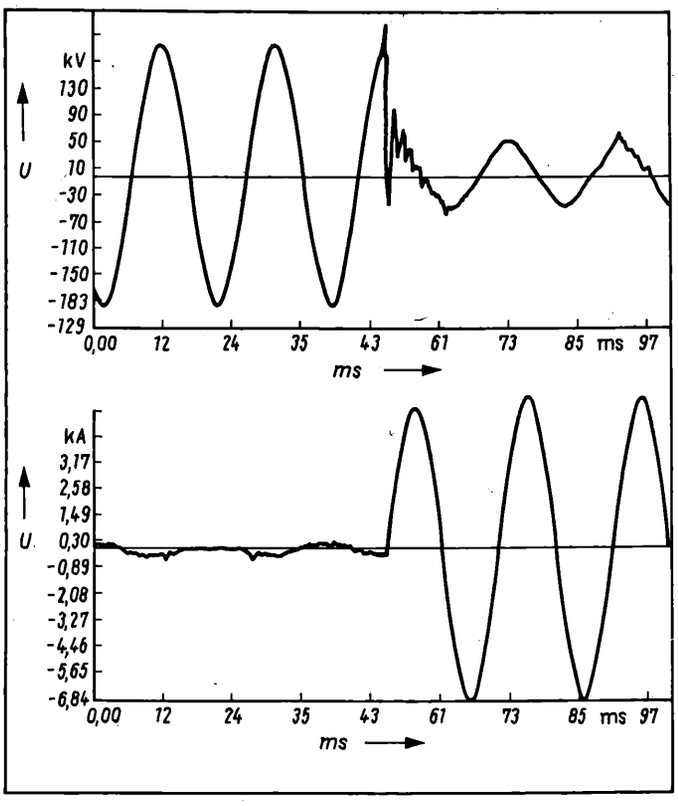


Bild 5. Aufzeichnung eines Kurzschlußversuches (1poliger EKS im 220-kV-Netz, dargestellt ist der fehlerbehaftete Leiter)

Bild 6a. Stromwandlerersatzschaltung ▶

Bild 6b. Programmablaufplan des Stromwandlermodells (i_{Sa}, ψ_{Ra}-Werte des vorherigen Iterationsschrittes) ($i_{Sa} = i_S\,(t - \Delta t)$; $\psi_{Ra} = \psi_R\,(t - \Delta t)$)

Bild 6c. Simulationsbeispiel zum Übertragungsverhalten eines Stromwandlers bei Nennbürde ($i_{S1}\,(t)$ — 100 A/5 A und $i_{S2}\,(t)$ — 200 A/5 A)

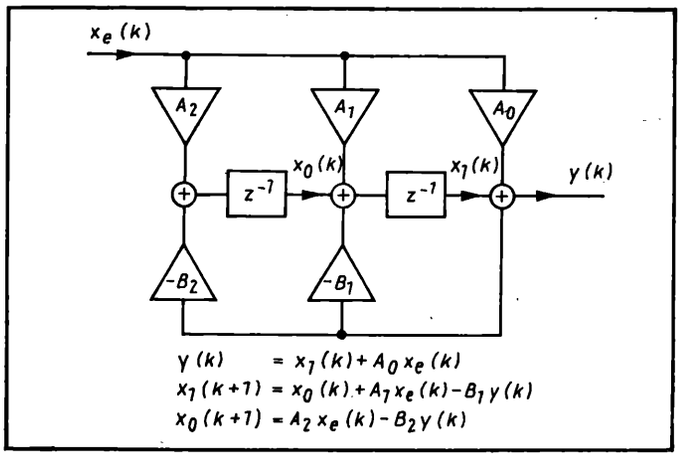
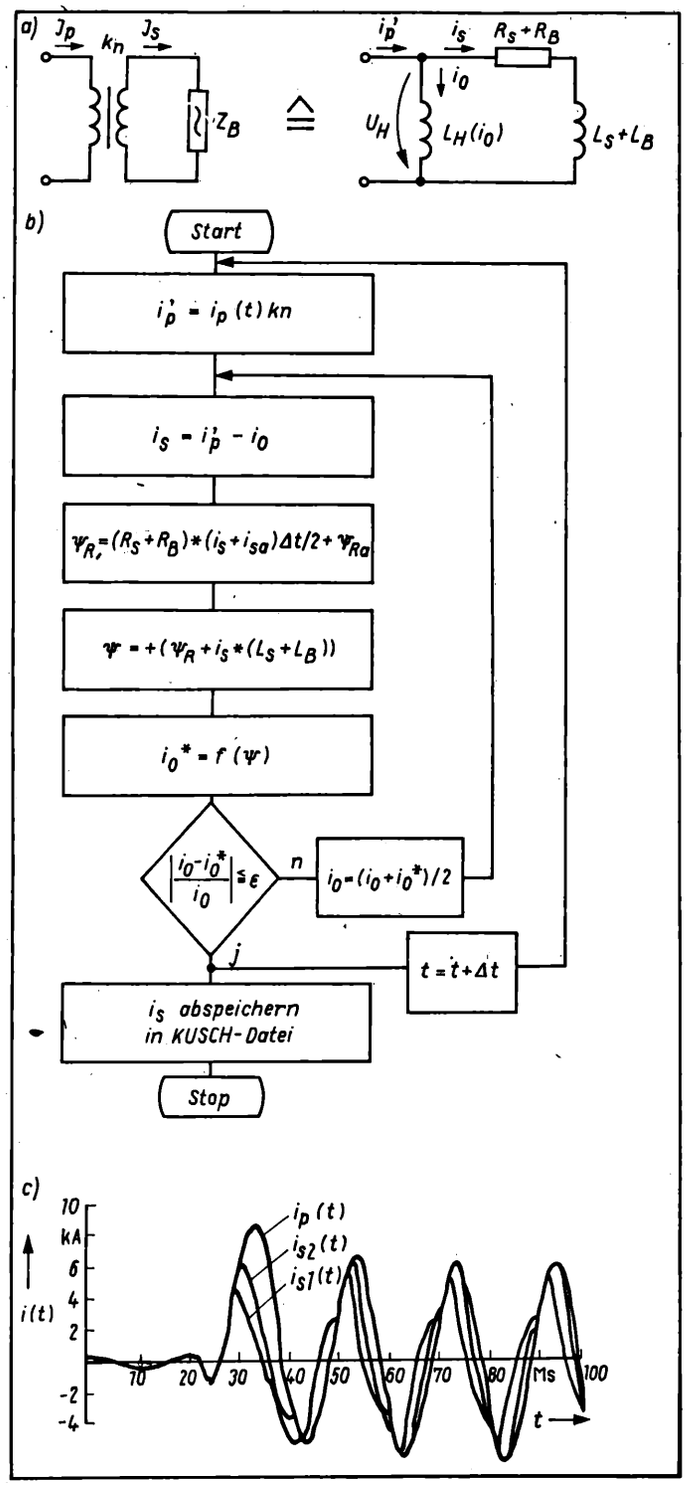


Bild 7. Struktur des Digitalfilter in der 1. kanonischen Form



— Kernmaterial
— Kniepunktspannung und Kniepunktstrom.

Bild 6b zeigt die prinzipielle Struktur des Wandlerprogramms und Bild 6c für einen ausgewählten Wandler die Berechnungsergebnisse. Deutlich ausgeprägt ist die Sättigung.

2.2.3. Realisierung des Anti-Aliasing-Filters

Das Programm FILTER ermöglicht die Implementierung rekursiver digitaler Filter (IIR-Filter), deren allgemeine Übertragungsfunktion (1) beschreibt.

$$G\,(z) = \frac{\sum_{j=0}^{m} A_j z^j}{\sum_{i=0}^{n} B_i z^i} = \frac{\sum_{j=0}^{m} A_j z^{-(m-j)}}{\sum_{i=0}^{n} B_i z^{-(n-i)}}. \qquad (1)$$

Die konkreten Zahlenwerte für die Koeffizienten A_j und B_i ergeben sich aus dem Filtertyp (Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß und Bandsperre), der gewünschten Approximation des Filters (Gauß-, Bessel-, Potenz-, Tschebyscheff-Filter), der Grenz- und Abtastfrequenz sowie der Ordnung des Filters. Zur Generierung der entsprechenden Koeffizienten dient das Programm FILTERENTWURF [11]. Es wurde eine in der Nachrichtentechnik übliche Lösungsmethodik benutzt. Den Ausgangspunkt bildet ein Analogfilter mit der Übertragungsfunktion

$$G\,(p) = \frac{Z\,(p)}{N\,(p)} = \frac{\sum_{j=0}^{m} a_j p^j}{\sum_{i=0}^{n} b_i p^i}, \qquad (2)$$

der komplexen Frequenz $p = \delta + j\,\Omega$ und der normierten Kreisfrequenz $\Omega = \omega/\omega_g$ (Normierung erfolgte auf 3 dB).
Grundlage aller Berechnungen ist der Standardtiefpaß, wobei bei den genannten Standardapproximationen keine Nullstellen auftreten ($Z\,(p) = 1$). Damit müssen nur die Koeffizienten für die Polstellen bestimmt werden (siehe [11]). Die anderen Filtertypen

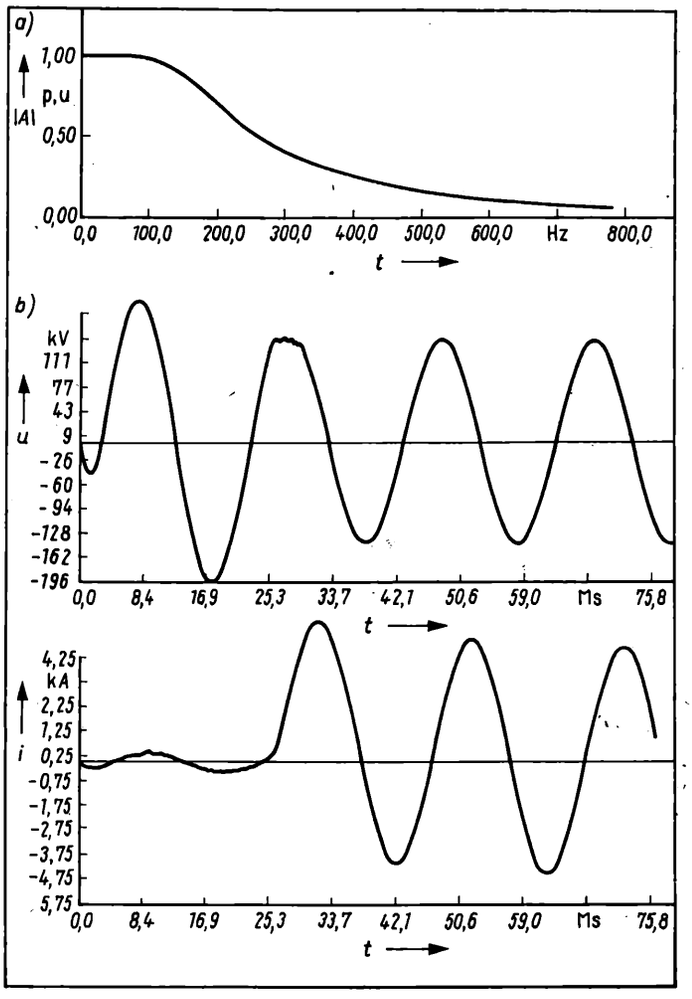


Bild 8a. Betragscharakteristik des Anti-Aliasing-Filters (Potenzfilter 2. Ordnung, Grenzfrequenz 200 Hz)

Bild 8b. Gefilterte Kusch-Datei

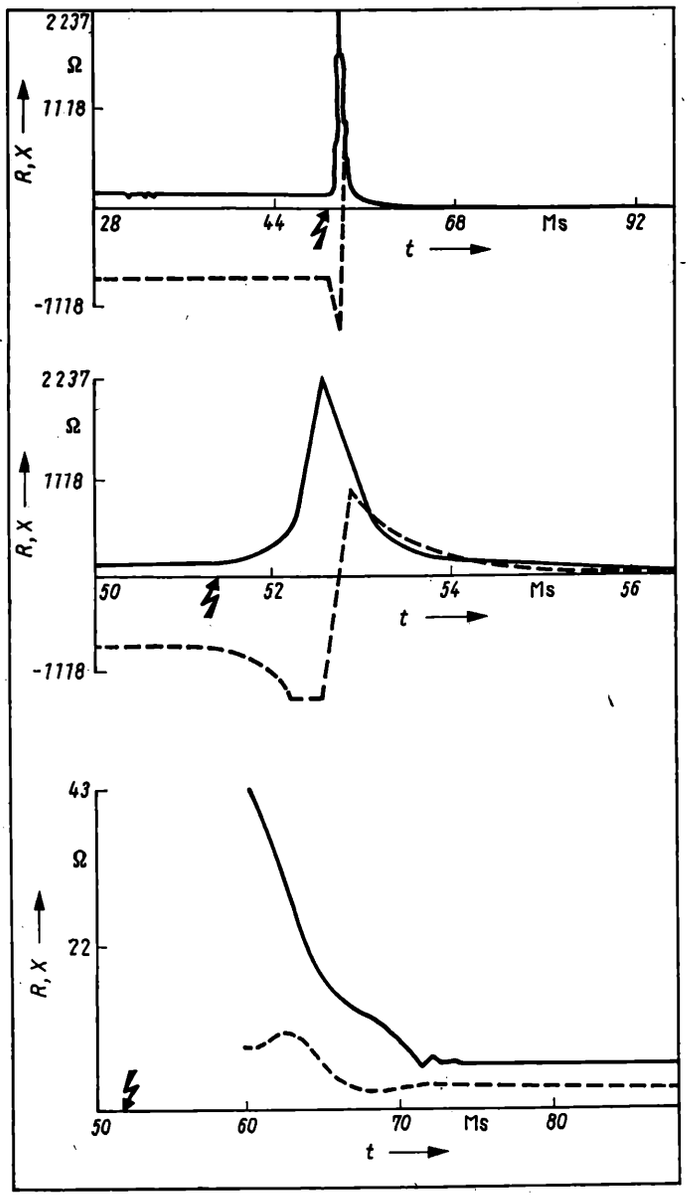


Bild 9. Zeitlicher Verlauf der Reaktanz und Resistanz (berechnet aus den realen Kurzschlußverläufen des 1poligen EKS mittels Fourieralgorithmus Vollwellenzyklus)

werden über eine Transformationsvorschrift aus dem Tiefpaß entworfen.

Vorteilhaft für die Realisierung ist die Aufspaltung in Kaskaden, so daß sich Filter höherer Ordnung aus Teilfiltern 2. und 1. Ordnung zusammensetzen.

Das Ergebnis der bisherigen Berechnungen ist ein analoges Referenzfilter [Gl. (2)], das mit Hilfe der Bilineartransformation [Gln. (3), (4)] in ein Digitalfilter überführt wird.

$$p = \frac{T_A}{2} \frac{z-1}{z+1} \tag{3}$$

$$\omega = \frac{T_A}{2} \tan\left(\psi \frac{T_A}{2}\right) \tag{4}$$

ω Kreisfrequenz der p-Ebene
ψ Kreisfrequenz der z-Ebene

Gl. (4) ist notwendig zum Ausgleich der Frequenzverzerrungen.

Das Ergebnis der Berechnungen des Programms FILTERENTWURF ist eine Datei mit den Filterkoeffizienten A_j und B_j einschließlich einem Dateikopf mit den notwendigen Informationen. Dem Programm FILTER muß mitgeteilt werden, in welcher Datei die zu benutzenden Koeffizienten abgelegt sind. Es basiert ebenfalls auf Grundgliedern 1. und 2. Ordnung, die aufgabenbezogen zusammengestellt werden. Bild 7 zeigt die Struktur für ein Grundglied 2. Ordnung ($m = n$) in der 1. Kanonischen Form. Gleichzeitig wurde berücksichtigt, daß der Koeffizient $B_0 = 1$ ist. Unter dem Bild sind die zu programmierenden Zustandsgleichungen angegeben.

Zur Demonstration der Filterwirkung wird der mit dem KUSCH-Programm erzeugte Kurzschlußvorgang des Bildes 4b benutzt. Die Betragscharakteristik des verwendeten Tiefpasses (Potenzfilter 2. Ordnung mit $f_g = 200$ Hz) ist im Bild 8a dargestellt und die gefilterten Größen zeigt Bild 8b. Die Ausgleichsschwingungen werden deutlich unterdrückt.

2.2.4. Algorithmenbibliothek

Nach Anwahl des Schutzkriteriums (siehe Bild 3) erfolgt eine Aufstellung der implementierten Algorithmen, die auf ihre Anwendbarkeit zur Lösung einer Schutzaufgabe getestet werden können. Bei der Benutzung der Bibliothek sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Sämtliche Berechnungen erfolgen einpolig und somit ist eine Eingangskanalzuordnung notwendig.
- Für die Kriterien Strom und Spannung werden gleiche Algorithmen angeboten, so daß in der Eingabe die Art der Eingangsgröße zu charakterisieren ist.
  Gleiches gilt für die Bestimmung der Harmonischen von U, I.
- Bei der Umsetzung des Kriteriums Stromdifferenz werden schutzobjektspezifische Randbedingungen berücksichtigt (z. B. Transformator; Betrags- und Phasenanpassung der Eingangsgrößen).
- Die Grafikroutine erlaubt die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Berechnungsergebnisse und im karthesischen Koordinatensystem. Eine Ausschnittsdarstellung ist ebenfalls möglich.
- Auslösekennlinien müssen, wenn gewünscht, nachträglich eingetragen werden (Nutzung eines Grafikeditors).

Das gewählte Programmkonzept ermöglicht, das Algorithmenspektrum ständig zu erweitern bzw. zu aktualisieren. Die Variantenvielfalt ist beim Kriterium Impedanz am ausgeprägtesten (siehe

[2]). Als Berechnungsbeispiel soll die Impedanzermittlung unter Benutzung der diskreten Fouriertransformation (Algorithmus nach (5), (6) und (7) in [3]) dienen. Die entsprechenden Ergebniswerte zu der Eingangsdatei nach Bild 5 zeigt Bild 9.

3. Zusammenfassung

Mit der Katalogisierung der unterschiedlichen Meßalgorithmen hat man einen sehr guten Überblick über die Leistungsfähigkeit und den Realisierungsaufwand. Aufgabenbezogen kann ein entsprechender Algorithmus ausgewählt werden. Das geschaffene Simulationsprogramm liefert über Testrechnungen Ergebnisse zum Meßverhalten unter anderem bei anomalen Fehlerbedingungen und unterstützt die Algorithmenauswahl. Damit ist zugleich auch das Meßverhalten des Relais bei „kritischen" Netzknotenpunkten vorausschauend analysierbar und Ergänzungen der Standardausführung möglich. Mit dem Beitrag wurden die wesentlichsten Komponenten des Programmsystems erläutert.

Literatur

[1] *Herrmann, H.-J.; Rothe, K.; Bauer, H.:* Support system for the digital protection. Symposium of Bournemouth Proceedings, 1989

[2] *Herrmann, H.-J.:* Ein Beitrag zu Schutzeinrichtungen auf der Basis von Mikrorechnern für den Kurzschlußschutz von Hochspannungsleitungen. Dissertation A. Ingenieurhochschule Zittau 1983

[3] *Herrmann, H.-J.:* Digitale Schutztechnik im Elektroenergiesystem. Algorithmen für den Staffelschutz. ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 3, S. 106–110

[4] *Lau, B.:* Berechnung elektromagnetischer und elektromagnetomechanischer Ausgleichsvorgänge. Dissertation A. Technische Universität Dresden 1987

[5] *Schegner, P.:* Digitaler Erdschlußuniversalschutz – Konzept und erste Realisierung. Dissertation A. Universität Saarbrücken, Lehrstuhl für Energieversorgung 1989

[6] *Fuchs, R.:* Pflichtendaten Leitungsvergleichsschutz. IEV-Bericht Nr. 74–2875, 1987

[7] *Clemens, H.; Brunner, R.; Peplinsky, B.:* Rechnergestützte statische und dynamische Prüfung von Schutzeinrichtungen der Energieversorgung. Internationale Konferenz zur Automatisierung und Steuerung der Verteilungssysteme der CSVTS (Tabor, 23 bis 25. Mai 1989), S. 171–177

[8] *Gabriel, H.:* Erweiterung des Meßwerterfassungssystem. Technische Hochschule Zittau, DA-Nr. 17/89-D/E1 1989

[9] *Eisenbeiß, G.:* Prüfeinrichtung zur Untersuchung von Distanzschutzgeräten bei nichtidealen Eingangssignalen. Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 6, Nr. 227. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989

[10] *Gruhn, G.; Borch, R.; Schult, H.:* Digitale Korrektur des nichtlinearen Übertragungsverhalten von Schutzstromwandlern. Wiss. Konferenz der TH Zittau 1985, Session 3, S. 91–93

[11] *Börner, F.:* Untersuchungen zur numerischen Integration, Differentiation und zu digitalen Filtern für Schutzeingangssignale. Technische Hochschule Zittau, DA-Nr. 93/88-D/E1, 1988

[12] *Herrmann, H.-J.; Rönnecke, R.:* Digitaler Überstromzeit- und Distanzschutz. ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 110–114

EA 6111

Informieren Sie sich

über neueste wissenschaftlich-technische Ausarbeitungen der Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen SSR!
Zur Nutzung steht Ihnen die DATENBANK „Wissenschaftlich-technische Ergebnisse der Akademie der Ukraine" zur Verfügung. In der Datenbank sind auf dem Gebiet der Elektrotechnik/Elektroenergetik u. a. Informationen über Ergebnisse zu den Themen:

— Niederohmige Widerstände aus Chromlegierungen
— Fehleranalysator auf Laserbasis
— Katoden aus Hexaborid-Lanthan
— System der Ionenätzung

gespeichert.

Zu jeder Ausarbeitung sind sofort abrufbar:

— ein Kurzreferat in deutscher, russischer bzw. englischer Sprache
— Angaben zum Autor
— Patent- und Lizenzhinweise
— Anwendungsgebiete
— Hersteller.

Diese Informationen können Sie über die Botschaft der UdSSR in der DDR, Gruppe Wissenschaft und Technik, Behrenstr. 8, Berlin, 1080, eingeholt werden.

Die Redaktion

EK 4219

Moderne Verfahren der Instandsetzung und Eichung von Elektroenergiezählern

D. Ebel, KDT, Oranienburg

Seit 1888 ist das Induktionsprinzip bekannt, das ein Jahr später als Grundlage für die Erfindung des Elektroenergiezählers diente. Auch nach 100 Jahren haben die Induktionszähler ihre sogar international noch wachsende Bedeutung für die Verrechnung der elektrischen Wechselstromarbeit bewahrt. Im Beitrag wird dargestellt, welcher Stand bei der Gewährleistung einer hohen Effizienz im Instandhaltungsprozeß für dieses wichtige Meßmittel erreicht wurde und welche Anforderungen an die Zählerprüfung künftig zu erwarten sind.

1. Instandsetzung und Prüfung

Zur Verrechnung der Elektroenergie sind in der DDR 8,5 Millionen Elektrizitätszähler unterschiedlicher Arten und Typen im Einsatz. Da es sich um eichpflichtige Meßmittel handelt, sind deren Ersteichung und periodische Nacheichung gesetzlich vorgeschrieben. Seit Ende der 70er Jahre erfolgt die Instandsetzung sämtlicher Elektroenergiezähler im Zählerreparaturwerk Oranienburg. Dem ging ein Prozeß der Zentralisation voraus, denn im Jahre 1960 existierten noch 24 Zählerreparaturwerkstätten auf dem gesamten Territorium der DDR.
Mit Einführung des Verfahrens der technisch-ökonomisch begründeten Nacheichfristen konnte die Einbaudauer der Zähler ständig verlängert werden. Demzufolge trat eine Verringerung der Anzahl der jährlich insgesamt instandzusetzenden Zähler ein. Dieser Fakt und gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität durch neue Technologien und rationelle Technik ermöglichen die Übernahme aller Zählerreparaturen durch das Werk in Oranienburg. Die jährlich zu prüfende Menge von Elektrizitätszählern beträgt gegenwärtig 90000 Stück, davon 60000 Einphasen-Wechselstromzähler, 20000 Drehstrom-Direktanschlußzähler und 10000 Wandlerzähler. Außerdem werden durchschnittlich 3000 Stichprobenprüfungen bzw. Eichungen fabrikneuer Zähler und 600 Befundprüfungen durchgeführt.
Der technologische Prozeß der Zählerinstandsetzung besteht aus den Teilabschnitten Ein- und Ausgangslager, äußere Reinigung, mechanische Instandsetzung, Justierung, Eichung und TKO-Abnahmeprüfung.

1.1. Ein- und Ausgangslager, Reinigung, Instandsetzung

Nachdem die Zähler per Container oder LKW angeliefert worden sind, erfolgt die Eingangsprüfung, bei der der Grad der Instandsetzung (Reinigung, Reparatur oder Verschrottung) ermittelt wird. Die Zähler werden sortenrein zwischengelagert, um dann serienweise dem Instandsetzungsprozeß zugeführt zu werden. Da mit allen Vertragspartnern vereinbart ist, daß sich ständig 10 bis 30 % der Jahresliefermenge im Zählerreparaturwerk befinden sollen, kann eine kontinuierliche Arbeit auch bei eventuellen zeitweiligen Lieferdifferenzen einzelner Vertragspartner aufrechterhalten werden.
Abhängig von der Konstruktion der Zähler (Wasserdichtheit) wird die äußere Reinigung in einer automatischen Anlage mit Hilfe eines Roboters durchgeführt. Mit dieser Anlage können jeweils 15 Zähler in 30 Minuten gereinigt werden. Durch visuelle Kontrolle wird dann festgestellt, welche Zähler äußerlich nachbehandelt werden müssen, weil deren Aussehen z. B. durch Roststellen, Fremdanstrich, aufgebrachte Schiebebilder oder ein deformiertes Gehäuse beeinträchtigt ist. Metallgehäuse werden, falls erforderlich, durch Sandstrahlen vorbehandelt. Die Farbgebung erfolgt manuell in einer Nitro-Farbspritzerei.
Bei der mechanischen Instandsetzung werden die Wandlerzähler von einer Arbeitskraft durchgängig behandelt, Einphasen-Wechsel-

Dipl.-Ing. *Detlef Ebel* ist Ingenieur für Meßwesen im VEB Energiekombinat Potsdam, Zählerreparaturwerk Oranienburg.

strom- und Drehstromzähler von zwei Arbeitskräften instandgesetzt, wobei eine den Läufer, das Zählwerk und die Verschleißteile ausbaut. Die zweite setzt gereinigte, neue oder regenerierte Teile ein und führt eine kurze elektrische Funktionsprüfung durch. Der Anteil der regenerierten Teile wächst, da immer häufiger Zähler bearbeitet werden, die bereits 30 oder mehr Jahre im Netz waren. Für derartige Zähler stellt der Hersteller meist keine Ersatzteile mehr bereit.

1.2. Justierung

Unter der Justierung eines Elektrizitätszählers versteht man das Verstellen seiner Abgleichorgane mit dem Ziel, daß der Zähler bei allen gesetzlich vorgeschriebenen Belastungen, also im gesamten Meßbereich, eine Anzeigegenauigkeit erhält, die innerhalb der zulässigen Toleranzen liegt.

Da bei der Mehrzahl der instandgesetzten Zähler kein Wechsel der Meßorgane erfolgt, wird im Zählerreparaturwerk Oranienburg bei der Justierung das Selektionsverfahren angewandt. Die Grundeinstellung der Abgleichorgane wird während der Instandsetzung nicht verändert, folglich hat der Zähler im wesentlichen dieselben Fehlerwerte wie vor der Instandsetzung. Deshalb werden bei der Selektion nur Anlauf- und Leerlaufverhalten überprüft und im Nennlast- und Kleinlastbereich justiert. Bei der anschließenden Eichung erweist sich, daß — abhängig von der Zählertype — etwa 70 % der Prüflinge die Eichfehlergrenzen einhalten. Die verbleibenden 30 % müssen nun in allen vorgeschriebenen Punkten nachjustiert werden.

Für die Justierung stehen spezialisierte Prüfeinrichtungen zur Verfügung, die im Zählerreparaturwerk Oranienburg entwickelt und gefertigt wurden [1].

Die Einphasen-Wechselstromzähler werden an vier Justiereinrichtungen mit jeweils 10 Meßplätzen nach dem Vergleichszählerverfahren justiert bzw. selektiert. Justierung und Selektion der Drehstrom-Direktanschlußzähler und der einfachen Wandlerzähler erfolgen nach dem Vergleichszählerverfahren an zwei Drehstrom-Justiereinrichtungen mit ebenfalls 10 Plätzen. Die übrigen Wandlerzähler werden auf zwei weiteren Einrichtungen mit 8 Meßplätzen justiert. In diesem Falle ist die Anwendung des Vergleichszählerverfahren und des Zeit-Leistungs-Verfahrens möglich. An den letztgenannten Justiereinrichtungen besteht die Möglichkeit, die Zähler anschließend zu eichen.

1.3. Eichung — Abschluß der Zählerinstandsetzung

Während es früher üblich war, Elektrizitätszähler nach dem Dauereinschaltverfahren zu eichen, werden heute ausschließlich Kurzzeit-Meßverfahren angewandt. Die Eichung aller Einphasen-Wechselstromzähler und fast aller Drehstromzähler erfolgt automatisiert auf zwei rechnergesteuerten Eicheinrichtungen. Die Prüfprogramme für alle serienmäßig zu eichenden Zählertypen sind abgespeichert und über die Tastatur des Steuerrechners sofort abrufbar.

Mit einer Einrichtung vom Typ PWE werden die in TGL 38267 [2] geforderten Prüfungen an Einphasenzählern durchgeführt. Diese Prüfeinrichtung besteht aus Stromversorgungs- und Steuerteil und zwei Zähleranschlußgestellen mit jeweils 48 Meßplätzen.

Zum Prüfumfang gehören:

— Prüfung der Isolationsfestigkeit mit 2 kV
— Prüfung auf Leerlauf mit 80 % U_{Nenn} und 110 % U_{Nenn}
— Prüfung auf Anlauf mit 0,5 % des Nennstroms
— Kontrolle der Richtigkeit der Zählwerksübersetzung
— Meßtechnische Prüfung in den Lastpunkten

U_{Nenn}	I_{Grenz}	$\cos \varphi = 1$
U_{Nenn}	I_{Nenn}	$\cos \varphi = 1$
U_{Nenn}	I_{Nenn}	$\cos \varphi = 0{,}5$
U_{Nenn}	$0{,}1\ I_{Nenn}$	$\cos \varphi = 1$.

Im Prüfprotokoll, das nach der vollständigen Prüfung der Zähler eines Gestells ausgedruckt wird, sind alle die zulässigen Grenzen überschreitenden Fehlerwerte gekennzeichnet.

Aufbau und Ablauf der Drehstromzählereichung mit der Eicheinrichtung PME sind ähnlich dem oben beschriebenen. Jedoch unterscheiden sich die Anzahl der Prüfpunkte und die zulässigen Fehlergrenzen. Außerdem sind Zusatzeinrichtungen der Zähler, wie Doppeltarif und Maximumanzeige, auf Richtigkeit zu prüfen.

1.6. TKO-Abnahme der geeichten Zähler

Die durch den Leiter der Meßtechnischen Prüfstelle im Zählerreparaturwerk Oranienburg eingesetzten TKO-Beauftragten kontrollieren die Qualität der auf den Eichautomaten geprüften Zähler in

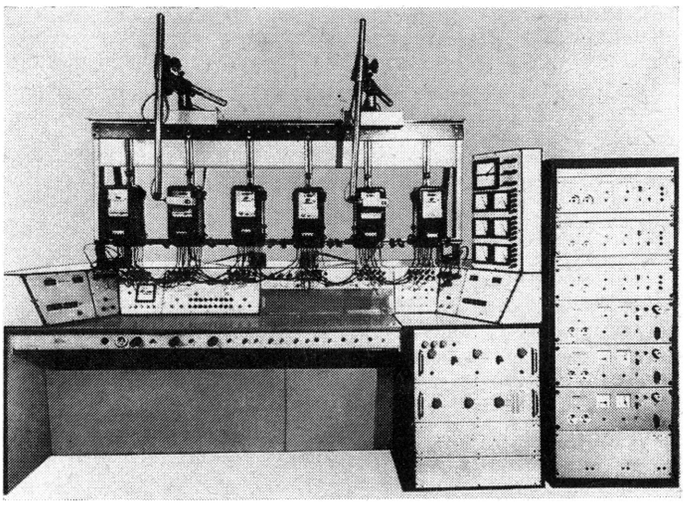


Bild 1. Universal-Präzisions-Zählerprüfeinrichtung UPZ

Form der Stichprobenprüfung auf der Grundlage des Standards TGL 14450/01 als Attributprüfung nach Doppelstichprobenplänen [3]. Die Stichprobenzähler werden auf einer Universal-Präzisionsprüfeinrichtung geprüft. Durch die TKO-Beauftragten erfolgt bei positivem Ergebnis der Stichprobenprüfung die Freigabe der geeichten Zähler zum Plombieren, d. h. zur Auslieferung an die Expedition (Bild 1).

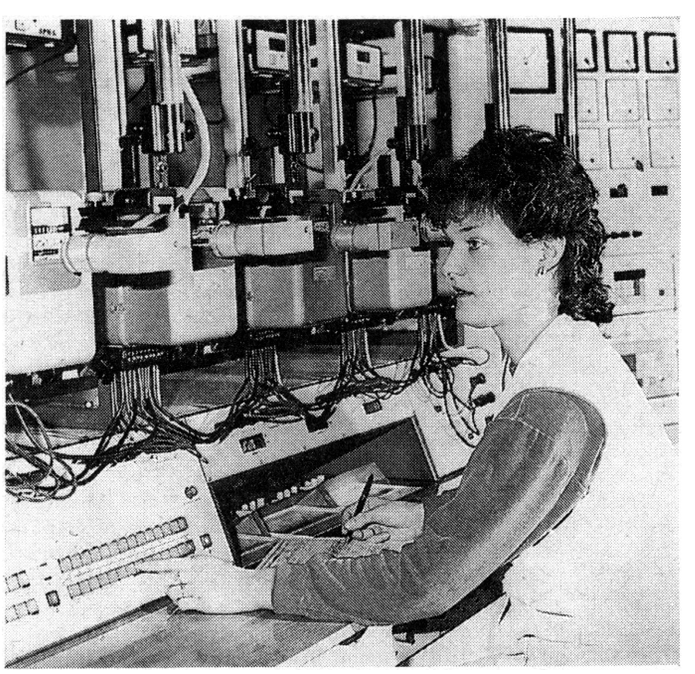
Diese Verfahrensweise und die Einführung genauerer und produktiverer Prüftechnik in den letzten Jahren waren die Voraussetzung für die kontinuierliche Verbesserung der Qualität. So konnte der Prozentsatz fehlerhafter Einheiten innerhalb von 15 Jahren von 4,7 % auf 0,5 % im Jahre 1988 verringert werden.

Neben der bereits genannten Aufgabe ist die TKO auch für die Durchführung der Befundprüfungen verantwortlich. Zur rationellen Bearbeitung der Befundprüfungen wird seit Anfang 1989 ein Computer eingesetzt, mit dem die Prüfberichte und die Rechnungen mit geringerem Aufwand erstellt werden können.

2. Entwicklungstrends bei der Elektroenergiemessung

Die rationelle Verteilung und richtige Verrechnung der Elektroenergie hängt direkt von den Eigenschaften der Meßeinrichtungen ab. Deshalb ist man bestrebt, die Genauigkeit der Elektrizitätszähler insbesondere für die Verrechnung großer Energiemengen zu erhöhen und deren Meßeigenschaften zu verbessern. In gleichem Maße werden sowohl national als auch international die Bedingungen, die

Bild 2. Justierung und Eichung von Wandlerzählern mit der Einrichtung ORGAMAT 10



Tafel 1. Bedingungen bei der Eichung von Elektrizitätszählern

Einflußgröße	Vorschrift	zulässige Abweichung bei der Prüfung von Zählern der Klasse 0,5	1	2	3 (Blind)	0,2S	0,5S	1 (S)	2 (S)
Relative Abweichung vom Mittelwert der Strangspannung und der verketteten Spannung (Spannungssymmetrie)	[1]	± 0,5 %	± 1 %	± 1 %	± 0,5 %	–	–	–	–
	[4] [5]	± 0,5 %	± 1 %	± 1 %	–	–	–	–	–
	[6]	± 0,5 %	± 1 %	± 1 %	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	± 1 %	± 1 %	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	± 1 %	± 1 %
Relative Abweichung vom Mittelwert der Ströme bei symmetrischer Belastung (Stromsymmetrie)	[1]	± 1 %	± 2 %	± 2 %	± 2 %	–	–	–	–
	[4] [5]	± 1 %	± 2 %	± 2 %	± 2 %	–	–	–	–
	[6]	± 1 %	± 2 %	± 2 %	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	± 1 %	± 1 %	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	± 2 %	± 2 %
Phasenverschiebung zwischen Strom und zugehöriger Spannung in Bezug auf den Nennwert der jeweiligen Phasenverschiebung	[1]	3°	3°	3°	3°	–	–	–	–
	[4] [5]	2°	2°	2°	2°	–	–	–	–
	[6]	2°	2°	2°	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	2°	2°	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	2°	2°
Bezugsspannungen Nennspannungsmittelwert (Einstellgenauigkeit)	[1]	± 0,5 %	± 1 %	± 1,5 %	± 1,5 %	–	–	–	–
	[4] [5]	± 0,5 %	± 1 %	± 1 %	± 1 %	–	–	–	–
	[6]	± 0,5 %	± 1 %	± 1 %	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	± 1 %	± 1 %	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	–	–
Bezugsfrequenz	[1]	± 0,2 %	± 0,5 %	± 1 %	± 1 %	–	–	–	–
	[4] [5]	± 0,2 %	± 0,3 %	± 0,5 %	± 0,5 %	–	–	–	–
	[6]	± 0,2 %	± 0,3 %	± 0,5 %	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	± 0,5 %	± 0,5 %	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	± 0,3 %	± 0,5 %
Klirrfaktor	[1]	3 %	5 %	5 %	5 %	–	–	–	–
	[4] [5]	2 %	2 %	3 %	5 %	–	–	–	–
	[6]	2 %	2 %	3 %	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	2 %	2 %	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	2 %	3 %
Umgebungstemperatur: 23 °C	[1]	± 1 K	± 2 K	± 2 K	± 2 K	–	–	–	–
	[4] [5]	± 1 K	± 2 K	± 2 K	± 2 K	–	–	–	–
	[6]	± 1 K	± 2 K	± 2 K	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	± 2 K	± 2 K	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	± 2 K	± 2 K
Gebrauchslage: senkrecht	[1]	± 0,5°	± 0,5°	± 1°	± 1°	–	–	–	–
	[4] [5]	± 0,5°	± 0,5°	± 0,5°	± 0,5°	–	–	–	–
	[6]	± 0,5°	± 0,5°	± 0,5°	–	–	–	–	–
nach Herstellerangaben	[7]	–	–	–	–	± 3°	± 3°	–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	keine Angaben	
Äußeres Magnetfeld mit Bezugsfrequenz darf folgende Fehleränderung hervorrufen	[1]	± 0,2 %	± 0,2 %	± 0,3 %	± 0,3 %	–	–	–	–
	[4] [5]	± 0,1 %	± 0,2 %	± 0,3 %	praktisch 0	–	–	–	–
	[6]	± 0,1 %	± 0,2 %	± 0,3 %	–	–	–	–	–
	[7]	–	–	–	–	max. 0,0025 mT		–	–
	[8]	–	–	–	–	–	–	max. 0,05 mT und ± 0,2 %	± 0,3 %

bei der Eichung dieser Meßeinrichtungen einzuhalten sind, weiter den aktuellen Erfordernissen angepaßt.

Da international die Bestrebungen langfristig in Richtung des elektronischen Energiezählers gehen, gibt es bereits diesbezüglich Ansätze zur Standardisierung der Parameter.

2.1. Stand der Standardisierung

In der Tafel 1 sind die bei der Eichung von Induktions- und elektronischen Energiezählern einzuhaltenden Bedingungen der nationalen Vorschriften, RGW-Standards und IEC-Publikationen zusammengestellt.

Es existiert in der DDR der Standard TGL 38267 für die Eichung von Induktionszählern der Klassen 0,5; 1; 2 und 2 W für Wirkenergie und der Klasse 3 für Blindenergie [2]. Die Klasse 2 W ist nur national standardisiert. Es handelt sich hierbei um die Einengung der Fehlergrenzen für Wandlerzähler der Klasse 2, deren Einsatz vor der Bereitstellung ausreichender Stückzahlen von Zählern der Klasse 1 erforderlich war.

Die RGW-Standards 1108 und 1109 [4] [5], die als TGL übernommen wurden, definieren die technischen Bedingungen und die Anforderungen an die Prüfung von Induktionszählern der Klassen 0,5; 1 und 2 für Wirkenergie und 3 für Blindenergie. Für elektronische Energiezähler existieren bisher keine derartigen Standards.

Die IEC-Publikation 521 für Wirkenergiezähler der Klassen 0,5; 1 und 2 [6] beinhaltet im wesentlichen dieselben Bedingungen und Anforderungen wie [4]. In [7] sind erstmals die technischen Anforderungen an elektronische Energiezähler der Klassen 0,2S und 0,5S formuliert worden und die Bedingungen zu deren Prüfung angegeben. („S" in der Klassenangabe bedeutet „statisch".) Da der Trend der Weiterentwicklung solcher statischer Zähler langfristig in Richtung Haushaltszähler geht, wurde der erste Entwurf für eine IEC-Publikation zu statischen Zählern der Klassen 1 und 2 erarbeitet [8]. Die dort formulierten Bedingungen sind in der Tafel 1 eingearbeitet worden; die entsprechenden Klassen sind in Anlehnung an die Darstellungsweise in [7] mit 1 (S) und 2 (S) bezeichnet. Wie aus der Tafel zu ersehen ist, gelten für diese Zähler dieselben Vorgaben wie für Induktionszähler.

In den RGW- und IEC-Vorschriften sind die Belastungspunkte, an denen die Zähler zu eichen sind, nicht definiert. Hierfür gelten jeweils die nationalen Standards.

Die Bereiche, in denen statische Zähler die jeweiligen Fehlergrenzen einhalten müssen, sind in [7] [8] angegeben. Daraus gilt es nun auch national abzuleiten, bei welcher Belastung die einzelnen Zählerarten (Wirk-, Blind-, Einphasen- und Mehrphasenzähler) zweckmäßig zu eichen sind.

2.2. Neue Zählerprüftechnik

Das Zählerreparaturwerk Oranienburg ist außer für die Instandsetzung von Elektrizitäts- und Gaszählern auch für die Produktion von Prüf- und Eicheinrichtungen verantwortlich. In Übereinstimmung mit den dargestellten Entwicklungstendenzen beim Einsatz der Elektrizitätszähler werden die Zählerprüfeinrichtungen weiterentwickelt. Gegenwärtig läuft die Serienproduktion einer neuen Gerätefamilie unter der Bezeichnung ORGAMAT an. In Zusammenarbeit mit dem traditionsreichen Zählerhersteller GANZ wurden die Prüfeinrichtungen ORGAMAT 10 und ORGAMAT 20 entwickelt. Mit ihrer Hilfe ist die rationelle Justierung und Eichung beliebiger Zähler bis zur Klasse 0,5 möglich. Jeweils 10 bzw. 20 Prüflinge können an die Prüfeinrichtung angeschlossen und in allen für Induktionszähler vorgeschriebenen Prüfpunkten geprüft werden. Als Normal ist ein elektronischer Vergleichszähler mit einer Genauigkeit von 0,1 % eingesetzt. Messung und Prüfablauf werden durch einen eingebauten Rechner automatisch gesteuert (Bild 2). Die laufenden Entwicklungsarbeiten sind darauf gerichtet, auch für die serienmäßige Prüfung statischer Zähler die entsprechenden gerätetechnischen Voraussetzungen zu schaffen, effektive Prüfverfahren zu entwickeln und den Maßanschluß an die höheren Normale zu gewährleisten.

Fortsetzung auf Seite 185

Numerisches Stromwandlermodell mit schneller Konvergenz

H. Schult, KDT, Leipzig

Verwendete Formelzeichen

A_e	magnetisch wirksamer Eisenquerschnitt
B	Induktion
g	Wichtungsfaktor
H	Feldstärke
I	Strom
L	Induktivität
l_e	magnetisch wirksame Eisenweglänge
m, z	natürliche Zahlen
N	Windungszahl
R	Widerstand
T	Zeitkonstante
ψ	verketteter magnetischer Fluß
μ	Permeabilität

Indizes

a	den Zeitpunkt $(t - \Delta t)$ betreffend
b	Bürde
h	Haupt
l	induktiver Anteil
m	Magnetisierung
r	ohmscher Anteil
σ	magnetische Streuung
1	primär
2	sekundär

Bei der Projektierung von Schutzeinrichtungen wird in der Auswahl und Bebürdung der Stromwandler den nichtstationären Beanspruchungen nach wie vor zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Die Berücksichtigung dynamischer Vorgänge ist aber unbestritten ein Erfordernis, dem allerdings nicht mit Vorschriften und handhabbaren Formeln problemlos entsprochen werden kann.
Von elektronischen oder rechnergestützten Schutzgeräten werden vor allem kürzere Kommandozeiten und damit eine deutliche Minderung der Kurzschlußschäden erwartet. Sowohl konventionelle als auch moderne Schutztechnik kann aber nur die Signale bewerten, die sie angeboten bekommt. Es ist also unumgänglich, die gesamte Meßkette, bestehend aus Schutzstromwandler, eventuell vorhandenem Zwischenwandler und Schutzgerät mit Eingangswandler, in ihrem transienten Verhalten zu betrachten. Ein solches Problem stellt sich bei Einbeziehung der Magnetisierungskennlinie einschließlich Sättigung als Lösung eines Systems nichtlinearer Differentialgleichungen dar und ist deshalb nur durch Simulation zu lösen.
Modularer Bestandteil der Software ist ein numerisches Stromwandlermodell. Bei der Lösung des beschreibenden Gleichungssystems ergeben sich im Sättigungsgebiet erhebliche Probleme mit der Konvergenz der Iteration. Diese Schwierigkeiten versucht man im allgemeinen mit extrem kleinen Integrationsschrittweiten Δt und damit großen Rechenzeiten zu vermindern.

Dipl.-Ing. *Holger Schult* ist Entwicklungsingenieur für CAD im Industrie-Hochschul-Komplex (IHK) Anlagenautomatisierung der Technischen Hochschule Leipzig.

Entstanden als Bestandteil von Software zum obengenannten Problemkreis, stellt der Beitrag, aufbauend auf [1], ein Modell mit schneller und sicherer Konvergenz zur Berechnung der dynamischen Übertragungseigenschaften eines Stromwandlers vor.

1. Wandlermodell

1.1. Anforderungen

Die Anforderungen für die Stromwandlermodellierung ergeben sich aus folgender Zielstellung.
Mit gegebenen Wandlerdaten ist die Berechnung des Antwortverhaltens von Wandlern beliebiger Magnetisierungscharakteristik auf Primärströme bis mindestens zum 100fachen des vollverlagerten Nennstromes und einschließlich des Sättigungsverhaltens zu realisieren. Modularität soll die Kombination zu einer Wandlerkaskade und damit deren Berechnung gestatten.

1.2. Gleichungssystem

Auf der Grundlage einer Darstellung nach Bild 1 ergibt sich mit Hilfe des Maschensatzes unter Anwendung von Induktions- und Durchflutungsgesetz folgendes beschreibendes, allgemeines Gleichungssystem für einen Stromwandler:

$$i_{2m} = i_1 N_1/N_2 + i_2 \tag{1}$$

$$H = i_{2m} N_2/l_e \tag{2}$$

$$B = f(H) = \mu(H) H \tag{3}$$

$$\psi_2 = N_2 A_e B \tag{4}$$

$$i_2 (R_2 + R_b) + d i_2/dt \cdot (L_{2\sigma} + L_b) = - d\psi_2/dt. \tag{5}$$

Liegt mit μ = const. und $L_{2\sigma}$ = const. lineares Übertragungsverhalten vor, so ergibt sich mit

$$L_{2h} = N_2^2 A_e \mu \tag{6}$$

$$T_2 = (L_{2h} + L_{2\sigma} + L_b)/(R_2 + R_b) \tag{7}$$

die bekannte Differentialgleichung für einen separaten bebürdeten Stromwandler:

$$d i_2/dt + i_2/T_2 = - N_1/N_2 \cdot L_{2h}/(L_{2h} + L_{2\sigma} + L_b) \cdot d i_1/dt. \tag{8}$$

Für nicht konstante Permeabilität liegt ein Gleichungssystem mit einer nichtlinearen Differentialgleichung vor.
Die Gln. (1) bis (5) sind Grundlage der Wandlersimulation. Die Kennlinie nach Gl. (3) ist durch die gemessene Magnetisierungskurve $\hat{B} = f(\hat{H})$ des Kernwerkstoffes des jeweiligen Wandlers oder durch einen analytischen Ausdruck repräsentiert.
Für die numerische Integration wurden das Euler-Verfahren, die Trapez-Formel und das Runge-Kutta-Verfahren getestet. Die Ergebnisse zeigen, daß das Trapezverfahren alle Anforderungen erfüllt.
Auf der Basis der Gln. (1) bis (5) ergibt sich in minimierter Form

$$i_2 = i_{2m} - i_1 N_1/N_2 \tag{9}$$

$$\psi_2 = - \left(i_2 (L_{2\sigma} + L_b) + (R_2 + R_b) \int i_2 \, dt \right) \tag{10}$$

$$i_{2m} = f(\psi_2). \tag{11}$$

Fortsetzung von Seite 184

3. Zusammenfassung

Instandsetzung und Prüfung von Elektrizitätszählern in der DDR haben eine hohe Effektivität und Qualität erreicht. Die jahrzehntelangen Erfahrungen im Zählerreparaturwerk Oranienburg waren eine solide Grundlage für die Entwicklung und serienmäßige Herstellung von Prüf- und Eicheinrichtungen, die nicht nur im eigenen Betrieb genutzt, sondern auch mit steigender Tendenz exportiert werden.
Der Einsatz von Zählern mit höherer Meßgenauigkeit und der Einsatz elektronischer Energiezähler wird sich künftig erweitern. Dadurch erhöhen sich auch die qualitativen und quantitativen Anforderungen an Technik und Technologie der Zählerprüfung.
Die Entwicklungsarbeiten werden kontinuierlich weitergeführt, so daß schließlich der Einsatz von Zählern der Genauigkeit 0,5 % und besser metrologisch abgesichert werden kann.

Literatur

[1] *Ebel, D.:* Prüfverfahren und -einrichtungen zur Justierung und Eichung von Elektrizitätszählern. Elektrizitätswirtschaft 86 (1987) 23, S. 1026–1028
[2] TGL 38267 Ausg. 6/83. Elektrizitätszähler: Eichung
[3] TGL 14450/01 Ausg. 2/81. Statistische Qualitätskontrolle; Stichprobenpläne für die Attributprüfung; Einfach-, Doppel- und Mehrfachstichprobenpläne
[4] TGL RGW 1108 Ausg. 9/79. Einphasen- und Mehrphasen-Induktions-Wirkenergie-Zähler; Technische Forderungen; Prüfung
[5] TGL RGW 1109 Ausg. 9/79. Induktions-Blindenergie-Zähler; Technische Forderungen; Prüfung
[6] IEC 521. Class 0.5; 1 and 2 Alternating-Current Watthour Meters. Second Edition 1988
[7] IEC-Report, Publication 687 Static Watthour Meters, Metrological Specifications for Classes 0.2S and 0.5S. First Edition 1980
[8] IEC TC 13, Project: Static Alternating-Current Watthour Meter (Class 1 and 2)

EA 6108

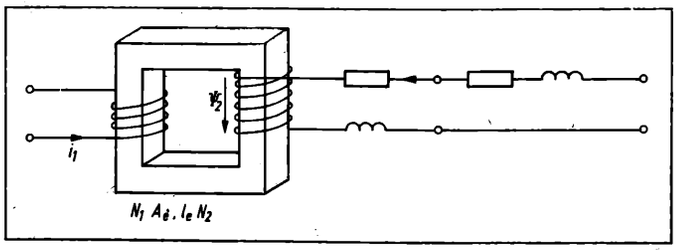


Bild 1. Prinzipdarstellung Stromwandler

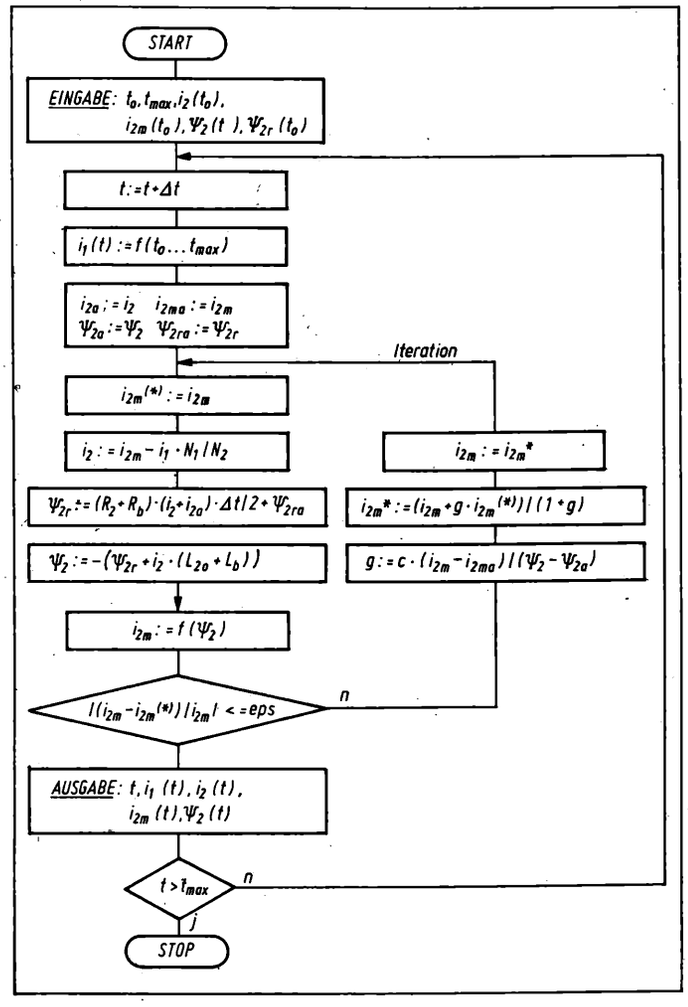


Bild 2. Schema zur Wandlersimulation

$c = (R_2 + R_b) \cdot \Delta t/2 + L_{2\sigma} - L_b$

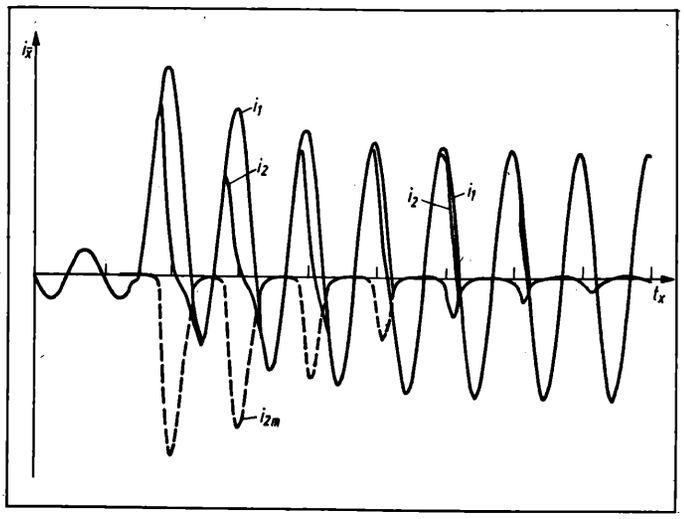
Bild 3. Simulationsbeispiel

Wandler: Gs 12; 300A/5A, 10P 8, 30 VA; $I_1 = 1500$ A ($T = 30$ ms)

Ordinate:

i_x	i_1	i_2	i_{2m}
A	− 3600,0	60,000	60,000

Abszisse: $t_x = 180$ ms



Mit dem Übergang zur Differenzengleichung mit Δt und bei Anwendung der Trapezregel zur numerischen Lösung wird Gl. (10) zu

$$\psi_2 = -(i_2 (L_{2\sigma} + L_b) + (R_2 + R_b)\, \Delta t/2 \cdot (i_2 + i_{2a}) + C) \qquad (12)$$

bzw. mit

$$\psi_{2r} = (R_2 + R_b)\, \Delta t/2 \cdot (i_2 + i_{2a}) + C \qquad \text{zu} \qquad (13)$$

$$\psi_2 = -(i_2 (L_{2\sigma} + L_b) + \psi_{2r}) \qquad (14)$$

umgeformt.

1.3. Konvergenz

Im folgenden sollen die obengenannten Probleme bei der iterativen Lösung verdeutlicht werden. In drei Schritten wird anhand der Konvergenzaussagen der Weg zu einem sicher konvergenten Verfahren aufgezeigt.

Während der Iteration zu einem Zeitpunkt $t = m\,\Delta t$ bleiben i_{2a}, ψ_{2ra} und i_1 konstant.

a) Einsetzungsverfahren

Die Lösung wird gesucht, indem das Ergebnis eines Iterationsschrittes unmittelbar die Basis für den nächsten Zyklus bildet. Mit den Konstanten

$$a = i_1 N_1/N_2 \qquad (15)$$

$$c = (R_2 + R_b)\, \Delta t/2 + L_{2\sigma} + L_b \qquad (16)$$

$$k = (R_2 + R_b)\, \Delta t/2 \cdot i_{2a} + \psi_{2ra} \qquad (17)$$

ergibt sich für die Betrachtungen zur Iteration aus den Gln. (9), (11) bis (14) und unter Verwendung eines nichtlinearen Operators A zur Beschreibung der Beziehung zwischen Magnetisierungsstrom und Flußverkettung folgender Sachverhalt:

$$i_{2,z+1} = i_{2m,z} - a \qquad (18)$$

$$\psi_{2,z+1} = -(c\, i_{2,z+1} + k) \qquad (19)$$

$$i_{2m,z+1} = A\,(\psi_{2,z+1}). \qquad (20)$$

Es ist nachzuweisen, daß es für eine endliche Anzahl z von Iterationszyklen ein i_2 und damit ψ_2 und i_{2m} gibt, für die die Iteration konvergiert.

Dieser Nachweis, der hier nicht wiedergegeben werden soll, führt zur Konvergenzbedingung

$$0 < (R_2 + R_b)\, \Delta t/2 + L_{2\sigma} + L_b < L_{2h}. \qquad (21)$$

Im Hinblick auf die Simulation, z. B. eines überbürdeten Schichtkernwandlers in der Sättigung, ergibt sich, daß bei gegebener Schrittweite Δt die Erfüllung der Bedingung für sehr kleine Permeabilitäten und damit die Lösungskonvergenz nicht garantiert ist. Die Berechnung muß dann abgebrochen werden. Im Grenzbereich der Konvergenzbedingung kann die Anzahl der zur Lösung für einen Zeitpunkt t erforderlichen Iterationszyklen in der Größenordnung 100 liegen.

b) Iteration mit Mittelwertbildung

Das Problem der iterativen Lösung besteht darin, daß die Startberechnung für den Sekundärstrom i_2 zum Zeitpunkt t mit einem Strom i_{2m} $(t - \Delta t)$ erfolgt. Nach der Berechnung der Flußverkettung aus i_2 kann der Zugriff zur Magnetisierungskennlinie im Sättigungsbereich (L_{2h} klein) einen Strom i_{2m} zum Ergebnis haben, dessen Differenz zum Lösungswert die Iteration divergieren läßt. Deshalb wird untersucht, ob eine Mittelwertbildung zwischen dem aus der Kennlinie ermittelten Magnetisierungsstrom und dem im vorherigen Iterationszyklus berechneten Wert das iterative Verhalten verbessert. Der Mittelwert entspricht einer Wichtung zu gleichen Teilen.

Die Gln. (18) und (19) bleiben unverändert, Gl. (20) wird in diesem Sinne modifiziert zu

$$i_{2m,z+1} = 1/2 \cdot (i_{2m,z} + A\,(\psi_{2,z+1})). \qquad (22)$$

Nun ergibt sich die Bedingung

$$0 < 1/3 \cdot ((R_2 + R_b) \cdot \Delta t/2 + L_{2\sigma} + L_b) < L_{2h}. \qquad (23)$$

Die Konvergenz ist gegenüber der Aussage nach Gl. (21) deutlich verbessert, aber auch jetzt nicht für jeden Fall garantiert. Die Anzahl der erforderlichen Iterationszyklen für ungünstige, aber noch konvergente Simulationsfälle gemäß Gl. (23) kann bei 20 bis 30 liegen.

c) Iteration mit Wichtungsfaktor als Funktion des Anstieges der Magnetisierungskennlinie

Ein Vergleich der Ansätze und der Ergebnisse der beiden Verfahren zeigt, daß zum einen die Konvergenz vom Anstieg der Magnetisie-

rungskennlinie abhängig ist und sich zum anderen die Art der Wichtung in der Konvergenzaussage widerspiegelt. Es wird ein Wichtungsfaktor g eingeführt, und — die Gln. (18) und (20) bleiben wiederum bestehen — mit einem allgemeinen Ansatz

$$i_{2m,z+1} = 1/(1+g) \cdot (g\, i_{2m,z} + A\,(\psi_{2,z+1})) \quad (g \geqq 0) \tag{24}$$

der günstigste Wert für eine Wichtung gesucht. Das Einsetzen von $g = 0$ bzw. $g = 1$ ergibt die speziellen Fälle nach Gl. (20) und Gl. (22). Konvergenz tritt ein, wenn

$$|(i_{2,z+3} - i_{2,z+2})/(i_{2,z+2} - i_{2,z+1})| < 1 \tag{25}$$

erfüllt ist. Mit

$$(i_{2,z+3} - i_{2,z+2})/(i_{2,z+2} - i_{2,z+1}) = 1/(1+g) \cdot (g - c/L_{2h}) \tag{26}$$

lautet dann die Bedingung

$$-(1+g) < c/L_{2h} - g < (1+g)\,. \tag{27}$$

Schnellste Konvergenz wird sich bei

$$c/L_{2h} = g \tag{28}$$

ergeben.

Die Wichtung ist damit wegen c = const. eine Funktion des Anstieges der Magnetisierungskennlinie. Der Wichtungsfaktor g wird während der Iteration ständig mit Hilfe des Differenzenquotienten aus Flußverkettung und Magnetisierungsstrom aktualisiert und in die Iteration einbezogen. Nach 2 bis 3 Schritten ist auch bei Sättigung eine Abbruchschranke von 0,1 % bezüglich der relativen Differenz der Ergebnisse zweier aufeinanderfolgender Iterationszyklen weit unterschritten. Der Algorithmus ist im Bild 2 dargestellt. Mit dieser Methode ist eine schnelle und sichere Konvergenz der Wandlersimulation gewährleistet.

1.4. Erforderliche Daten

Das Übertragungsverhalten von Stromwandlern wird wesentlich von den Eigenschaften des verwendeten Kernmaterials bestimmt. Für die Berechnung findet eine eindeutige Kennlinie, die Funktion $\hat{B} = f(\hat{H})$ oder äquivalent dazu $\hat{\psi}_2 = f(\hat{i}_{2m})$, Anwendung, die als Feld von Wertepaaren mit Interpolation der Zwischenwerte für die Simulation genutzt wird. Liegt die Funktion nicht vor, läßt sie sich aus der sekundären Erregerkennlinie, als Spitzenwertmessung bei sinusförmiger Speisespannung, ermitteln. Je nach Anwendungszweck der Berechnungen kann durchaus auch eine Näherung durch einen analytischen Ausdruck vertretbar sein. Weiterhin sind die Komponenten der Bürdenimpedanz und, soweit bekannt, R_b und $L_{2\sigma}$ anzugeben. Bei nicht bekanntem Windungszahlübersetzungsverhältnis ist der Kehrwert der Nennübersetzung der Ströme heranzuziehen. Das Wandlermodell ist in eine Zeitschleife eingebunden und berechnet für einen vorzugebenden Strom $i_1(t)$ den Zeitverlauf $i_2(t)$ von t_0 bis t_{max}. Wird nicht vom energielosen Zustand bei $t = t_0$ ausgegangen, sind die Anfangswerte verschieden von Null und über das stationäre Modell zu bestimmen. Die Schrittweite Δt ist wählbar, wobei sich eine Rechnung mit $\Delta t = 1/f/64$ als optimal bezüglich der Abbildung höherfrequenter Anteile, des Rechenzeitbedarfs und einer z. B. graphischen Weiterverarbeitung der Ergebnisse erwiesen hat. Mit dieser Schrittweite dauert auf einem Rechner A 7100 die Berechnung einer Periode eines vollverlagerten Vorganges mit Sättigung maximal etwa 5 s.

2. Realisierung

Die Prozedur zur Wandlersimulation wurde in TURBO-PASCAL geschrieben und ist unter CP/M- und MS-DOS Betriebssystemen lauffähig. Zur Illustration ist im Bild 3 das Ergebnis der Berechnung eines Schutzstromwandlers Gs 12 (300 A/5 A, 30 VA, 10 P 8) bei ohmscher Nennbürde dargestellt. Der Primärwechselstrom mit einem Effektivwert von 1500 A ist voll verlagert, der Gleichanteil klingt mit einer Zeitkonstante von 30 ms ab. Die Graphik zeigt den um 180 Grad gedrehten Primär-, sowie den Sekundär- und Magnetisierungsstrom. Die Wahl der Maßstäbe auf der Ordinate ermöglicht den Vergleich mit dem Nennübersetzungsverhältnis 300 A/5 A.

Literatur

[1] *Gruhn, G.; Borch, R.; Schult, H.:* Digitale Korrektur des nichtlinearen Übertragungsverhaltens von Schutzstromwandlern. Wissenschaftliche Berichte der Ingenieurhochschule Zittau, Nr. 557 (1985)

EA 6115

Untersuchungen zum Zeitverhalten von Gasen im Buchholz-Relais

E. Bräsel; D. Musolff; Greifswald

Die praktische Bewertung von Gasansammlungen im Buchholz-Relais von Transformatoren unterliegt auch heute noch erheblichen Trugschlüssen, die folgende Ursachen haben:

— An der Fehlerstelle entstehende und im Kesselöl aufsteigende Zersetzungsgasblasen verändern durch einen zweiseitigen Gasaustausch mit dem lufthaltigen Kesselöl ihre Größe und Zusammensetzung deutlich.

— Das im Buchholz-Relais die Signalisation verursachende Zersetzungsgas verbleibt bis zur Entnahme immer noch einige Zeit im Gasdom des Relais und hat dabei um den Schwimmerball herum mit dem der Konvektion unterliegenden Öl Kontakt.

Die erste Ursache läßt sich nicht umgehen. Ihre modellmäßige Beschreibung führte zu einem Verfahren der Relaisgaskorrektur auf die Originalzusammensetzung an der Fehlerstelle [1]. Die Voraussetzung für die zuverlässige Anwendung ist die sofortige Entnahme des Relaisgases nach der Signalisation.

Die zweite Ursache wirkt qualitativ wie die erste, ist aber bisher noch nicht untersucht worden. Ihr Einfluß ist hauptsächlich deshalb groß, weil die Zeitspanne zwischen der Signalisation des Buchholz-Relais und der Entnahme aus dem Gasdom einige Stunden beträgt. Für die Blocktransformatoren der Kraftwerke ist ein Durchschnittswert von 3 Stunden repräsentativ. Bei Netztransformatoren können noch höhere Werte angenommen werden.

Die Aufgabe bestand darin, unter Betriebsbedingungen die zeitabhängige Änderung der Relaisgaszusammensetzung quantitativ zu ermitteln. Ausgehend von der Bewertung der Ergebnisse wurden Schlußfolgerungen für die Praxis abgeleitet.

1. Auswahl der Modellgaszusammensetzungen

Das an der Fehlerstelle im Trafokessel entstehende freie Gas enthält nur Zersetzungsgase, keine Luftkomponenten. Erst beim Aufstieg dieser Zersetzungsgasblasen durch das Kesselöl bis zum Buchholz-Relais gelangen über den Gasaustausch zwischen Blase und Öl Luftkomponenten in die Blasen. Sofort nach der Signalisation entnommenes Relaisgas enthält deshalb einen bestimmten Anteil an Luftkomponenten. Eigene Messungen [2] lieferten Wertebereiche von 1 bis 6 V-% für Sauerstoff und 6 bis 30 V-% für Stickstoff. Die Zersetzungs-Gaszusammensetzung wird durch die Fehlerart bestimmt.

Da die Modellgase in das Buchholz-Relais über den Gasentnahmehahn des Gasdoms eindosiert werden müssen, war zu berücksichtigen, daß von der Dosierung bis zur 1. Probeentnahme etwa 10 min vergehen. In dieser Zeitspanne muß mit einem schon beträchtlichen Gasaustausch gerechnet werden. Aus diesem Grunde wurden die Modellgase luftfrei hergestellt.

Bei der Auswahl der Fehlergaskomponenten wurde besonders auf das Spektrum der Löslichkeiten der Komponenten [1] geachtet. Das Modellgas für Versuch 1 soll eine Lichtbogenentladung unter Beteiligung von Festisolation simulieren (charakteristische Komponenten: H_2, C_2H_2, CO). Das Modellgas für Versuch 2 präzisiert das Verhalten innerhalb der Kohlenwasserstoffe bei thermischen Fehlern.

Tafel 1 zeigt die Gaskomponentenkonzentrationen (V_i) des Kesselöles und die Zusammensetzung des Modellgases. Zur direkten Vergleichbarkeit sind die V_i-Werte in fiktive Gaskonzentrationen (C_i^{GG}) umgerechnet worden. Die große Differenz zur Modellgaszusammensetzung garantiert, daß auch bei kleineren Zersetzungsgaskonzentrationen noch kein Einfluß durch die im Öl gelösten Zersetzungsgaskomponenten der ausgewählten gesunden Transformatoren möglich wird. Die angeführten Modellgaszusammensetzungen sind die Startwerte nach Einfüllen in den Gasdom.

Dr. rer. nat. *Eckhard Bräsel* ist Leiter Analytik in der Hauptabteilung Kraftwerkschemie; Ing. *Dieter Musolff* ist 1. Mitarbeiter Transformatoren in der Hauptabteilung Elektrotechnik des VE Kombinat Kernkraftwerke „Bruno Leuschner", Greifswald.

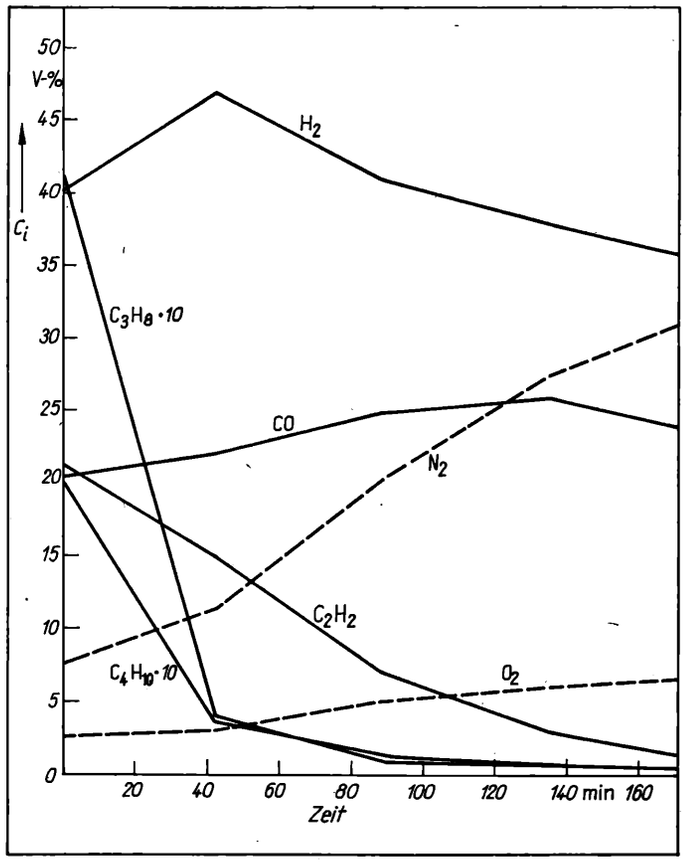


Bild 1. Zeitverlauf der Komponentenkonzentrationen in einem Relaisgas, das für eine spontane Lichtbogenentladung mit Beteiligung der Festisolation typisch sein soll

——— Absorption; – – – – Desorption

Tafel 1. Komponentenkonzentrationen im Kesselöl und im Modellgas bei Versuchsbeginn

Versuch 1				Versuch 2		
Komponente	V_i ppm	C_i^{GG} $\overline{V}$-%	Modellgas V-%	V_i ppm	C_i^{GG} $\overline{V}$-%	Modellgas V-%
CH_4	26	0,009	–	19	0,007	0,67
C_2H_2	22	0,003	21,3	6	0,0008	0,50
C_2H_4	136	0,013	–	202	0,02	0,58
C_2H_6	14	0,0009	–	17	0,001	0,51
C_3H_6	29	0,0007	–	57	0,001	0,34
C_3H_8	11	0,0002	4,1	21	0,0004	0,32
H_2	52	0,104	40,5	16	0,032	19,6
O_2	12073	7,995	2,4	9155	6,06	1,83
N_2	56570	66,55	7,5	61430	72,27	5,18
CO	765	0,765	20,5	100	0,1	–
CO_2	8787	1,14	–	1095	1,31	–
i-C_4H_{10}	–	–	2,0	–	–	–
n-C_4H_{10}	–	–	2,0	–	–	–
Ar	–	–	–	–	–	70,5

2. Versuchsanordnung und -durchführung

Die Versuche wurden an zwei unterschiedlichen Blocktransformatoren (Typ: KDRF/V 250 002/220E; VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin) im spannungslosen Zustand unmittelbar nach dem Abfahren des Turbosatzes durchgeführt. Dadurch konnten die den Gasaustausch beeinflussenden Bedingungen — Öltemperatur (≈ 52 °C) und -umwälzung (1 Ölpumpe i. B.) — wie im Störfall wirken.

Das Modellgas wurde mittels Sperrflüssigkeit fremdluftfrei in den Gasdom des Buchholz-Relais (Typ BF 80/10; VEB Elektromotorenwerk Barleben) dosiert. Entsprechend Gasdomanzeige betrug das Startvolumen jeweils etwa 400 cm³ Modellgas. Über eine auf den Gewindestutzen des Gasdoms aufgesetzte Gummikappe sind zeitabhängig Gasproben mittels Injektionsspritze (2 cm³) entnommen und ins Labor transportiert worden. Mittels Mikroliterspritze erfolgte die Dosierung zur vollständigen gas-chromatographischen Analyse.

Als Startzeitpunkt ($t = 0$) wurde die 1. Probenahme aus dem Gasdom nach erfolgter Modellgasdosierung und Umrüstung gewählt (Zusammensetzung s. Tafel 1).

3. Diskussion der Meßergebnisse

Der zeitliche Verlauf der Komponentenkonzentrationen von Versuch 1 ist graphisch in Bild 1 dargestellt. Die gut öllöslichen Komponenten (C_4H_{10}, C_3H_8, C_2H_2) nehmen sehr schnell ab, weshalb die wenig öllöslichen Komponenten (H_2, CO) ein Maximum durchlaufen. Die Luftkomponenten (O_2, N_2) werden deutlich aus dem Öl eingetragen. Schon nach etwa 2 Stunden haben sich Komponenten so stark abgereichert, daß sie analytisch nicht mehr über das Gleichgewichts-Kriterium als Fehlergas identifiziert werden können. Die Verschiebung der Komponentenrelationen ist so deutlich, daß keine Schlußfolgerungen zur Fehlerart mehr möglich sind.

Bei Versuch 1 wurde auch die zeitabhängige Volumenänderung des Modellgases im Gasdom anhand der Schauglasgradierung bestimmt (Tafel 2). Vom Dosierbeginn (400 cm³) bis zum Startzeitpunkt (275 cm³) nimmt das Volumen schon auffallend stark ab. Dafür ist der Anteil (38 V-%) gutöllöslicher Komponenten verantwortlich. Bei 200 cm³ endet die Graduierung, so daß der Endwert erst nach der Gasentleerung aus dem Gasdom bestimmt werden konnte. Dieser wird maßgeblich durch den hohen Anteil gering öllöslicher Komponenten (H_2, CO) im Modellgas bestimmt.

Tafel 2. Zeitliche Änderung des Relaisgasvolumens (Versuch 1)

Zeit min	vor Dosierung	0	42	88	135	170
Volumen cm³	400	275	230	200	–	150

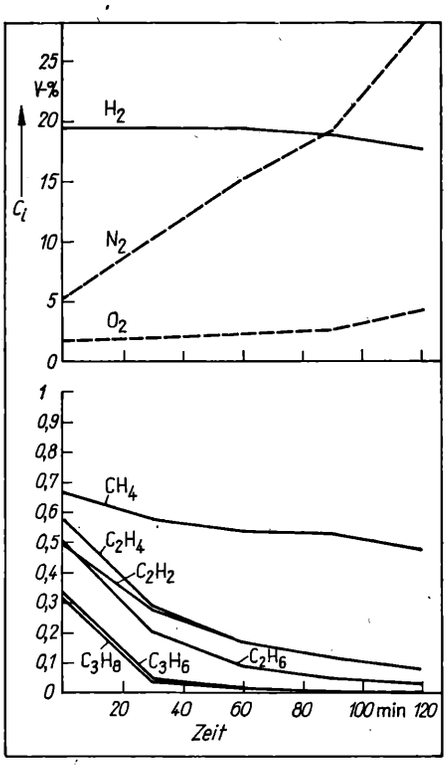


Bild 2
Zeitverlauf der Komponentenkonzentrationen in einem Relaisgas, das einen thermischen Fehler simulieren soll

——— Absorption;
– – – – Desorption

Versuch 2 ist im Bild 2 dargestellt. Der Anteil der Kohlenwasserstoffe beträgt im Modellgas nur etwa 3 V-%, was zur Folge hat, daß Wasserstoff kein Maximum durchläuft. Die Abnahme der Kohlenwasserstoffe ist wieder sehr auffällig. Methan bildet wegen der deutlich geringeren Öllöslichkeit eine Ausnahme und nimmt zu den gering öllöslichen Komponenten eine Zwischenstellung ein. Der Lufteintrag ist auch hier deutlich. Nach 2 Stunden ist eine vergleichbare Änderung eingetreten, wie sie zu Versuch 1 diskutiert wurde.

4. Schlußfolgerungen für die Praxis

Die unter Betriebsbedingungen durchgeführten Untersuchungen haben folgenden Einfluß der Aufbewahrungszeit von der Signalisation bis zur Entnahme des Relaisgases als markant ausgewiesen:

— Abnahme des Relaisgasvolumens
— Verschwinden von Fehlergaskomponenten
— Verschiebung der Komponentenrelationen.

Die Abnahme des Relaisgasvolumens mit zunehmender Aufbewahrungszeit kann sich unterschiedlich auswirken:

— Das Entnahmevolumen ist kleiner als das die Signalisation ausgelöste Volumen (der Schwellwert ist scheinbar zu niedrig eingestellt).
— Das zu entnehmende Realisgasvolumen ist nicht mehr im Schauglas des Gasdoms sichtbar (daher in diesen Fällen immer trotz angeschlossener Gasentnahmevorrichtung den Entnahmehahn am Gasdom öffnen).
— Das Relaisgas hat sich vollständig aufgelöst (angebliche Fehlmeldung).

Folgende Faktoren begünstigen diese aufbewahrungszeitabhängigen Abnahmen

— thermische Fehler ohne Beteiligung von Festisolation (wenig H_2 und CO)
— geringer Luftsättigungsgrad des Öles.

Das Verschwinden von Gaskomponenten ist ganz deutlich nachgewiesen bei den Kohlenwasserstoffen, außer Methan, und beim Kohlendioxid (Löslichkeit wie C_2H_2). Damit bleiben nur die Fehlergaskomponenten H_2 (CO nur bei Beteiligung von Festisolation) und CH_4 bis zum völligen Auflösen des Relaisgases erhalten. Diese Feststellung läßt sich durch Relaisgasanalysen von Großtransformatoren bei Aufbewahrungszeiten von >2 Stunden belegen.
Relasisanalysen werden über das Gleichgewichts-Kriterium mit den Analysen der im Öl gelösten Gase verglichen, um Anhaltspunkte zur Spontanität zu bekommen. Durch die Aufbewahrungszeit werden solche Aussagen immer in Richtung geringerer Spontaneität verfälscht.
Unter diesen Bedingungen sind grundsätzlich keine thermischen Fehler zu diagnostizieren. Die prinzipielle Dominanz des Wasserstoffs orientiert oft ungerechtfertigt auf elektrische Entladungen.
Durch das löslichkeitsabhängige Verschwinden von Komponenten werden die ursprünglichen Relationen unter den Fehlergaskomponenten so verschoben, daß die übliche Anwendung des Quotientenschemas völlig ungeeignet ist.
Durch die vorgelegten Ergebnisse sind frühere Einschätzungen, daß die konstruktive Gestaltung des Buchholz-Relais nicht mehr der erreichten Leistungsfähigkeit gas-chromatographischer Analysen entspricht, bestätigt worden.
Da auch das neuentwickelte Buchholz-Relais (TÜS, Typ 0923-0,65; VEB Elektromotorenwerk Barleben) die Belange der gasanalytischen Störungsdiagnostik nicht berücksichtigt, muß weiter nach konstruktiven Lösungen gesucht werden, das Relaisgas unmittelbar nach der Signalisation aus dem Buchholz-Relais entnehmen zu können.

Literatur

[1] *Bräsel, E.; Pyl, Th.:* Relaisgaskorrektur zur Bestimmung der Fehlerart im Transformator. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 9, S. 344–347
[2] *Bräsel, E.:* Beiträge zur gasanalytischen Diagnostik von Öltransformatoren mit Luftabschlußsystem. Dissertation A. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald 1981
[3] *Bräsel, E.:* Neue Hilfsmittel zur Bewertung von Relaisgasen. Fachtagungsmaterial „Anwendung von Verfahren der Technischen Diagnostik an elektrotechnischen Betriebsmitteln", S. 58–70. Kombinat VEB Chemische Werke; Buna, 25. und 26. 10. 1983

EA 5998

Zur Lösung Ihrer Steuerungsprobleme bieten wir Ihnen zur Lieferung ab II. Halbjahr 1990 und Nachfolgejahre

Mikrorechnersteuerungen
TES 8081 — MRS 701

WICHTIGE PARAMETER

- Leistungsfähiges Softwarekonzept
- 26 Eingänge, 20 Ausgänge
- Standardisierte Schnittstellen mit Anschlußmöglichkeiten für komfortable Programmiertechnik
- 8-Bit-Mikroprozessor

Ihre Anfragen richten Sie bitte an: **VEB Textimaelektronik,** Abt. Absatz Matthesstraße 57, **Karl-Marx-Stadt, 9003** Telefon: 272118

Induktivität und Stromaufteilung von Wechselstromverbindungen hoher Stromstärke

E. Höhne, KDT; U. v. Fournier, KDT; C. Pfitzner, KDT; Dresden

Verwendete Formelzeichen und Indizes

H	magnetische Feldstärke
I	Strom
l	Länge
L_b	Betriebsinduktivität
M_{mn}	Gegeninduktivität zwischen Schleifen m und n
R_a, R_i	Außen- bzw. Innenradius
U_1, U_2, ΔU	Spannungen (s. Bild 2)
x, y, z	räumliche Koordinaten (s. Bild 4 und 5)
Φ	magnetischer Fluß; äußerer magnetischer Fluß
ψ	Induktionsfluß; äußerer Induktionsfluß
μ_0	Induktionskonstante
ω	Kreisfrequenz
n, m	ganze Zahlen zur Bezeichnung der Leiter
nm	Doppelindizes (n = Ort der Wirkung, m = Ort der Ursache)
x, y, z	räumliche Komponente in x-, y- oder z-Richtung

Zur Einspeisung von Elektrolysebädern oder auch Ofenanlagen sind Wechselstromverbindungen sehr hoher Stromstärke (bis 20 kA) bei Spannungen von wenigen Volt bis <1 kV erforderlich. Die Verbindungen sind zumeist nur wenige Meter lang. Die Stromschienen sind vorwiegend aus einer größeren Anzahl von Einzelschienen zusammengesetzt.
Es besteht die Aufgabe, die Stromaufteilung innerhalb des Schienenpaketes und den Spannungsabfall über der Schienenverbindung zu berechnen. Weiterhin interessiert die magnetische Feldstärke in der Nähe dieser Hochstromverbindungen, um gegebenenfalls die Beeinflussung elektronischer Betriebsmittel beurteilen zu können.
Diese Veröffentlichung beschäftigt sich nur mit der Berechnung der Stromaufteilung und des Spannungsabfalls. Es ist vorgesehen, zur Berechnung der magnetischen Feldstärken in einem gesonderten Aufsatz zu berichten. Bei der Herleitung der Gleichungen wird aber ihre Nutzung zur Feldstärkeberechnung beachtet.

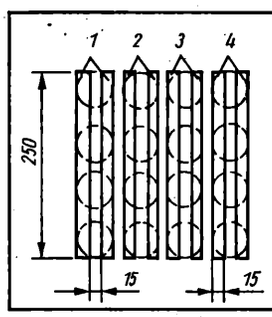
1. Berechnungsverfahren

Soll für einen Stromleiter (z.B. nach Bild 1) die Stromaufteilung auf die einzelnen Schienen bei verschiedenen Leiterfolgen ermittelt werden, so ist es notwendig, für die Schleifen aller Teilströme den umfaßten Induktionsfluß ψ und daraus die wirksame Betriebsinduktivität L_b zu berechnen. Da die Teilleiter am Anfang und Ende der Verbindung parallel geschaltet sind, muß über jeden Teilleiter der gleiche Spannungsabfall ΔU auftreten. Daraus ergibt sich die Stromaufteilung auf die einzelnen Schleifen, wobei in den meisten Fällen auf die Berücksichtigung ihrer ohmschen Widerstände, die nicht wesentlich voneinander abweichen, verzichtet werden kann.
Jede Leiterschleife ist mit ihrem eigenen Magnetfeld und den Magnetfeldern aller anderen Schleifen verkoppelt. Die Stromverdrängung durch das Eigenfeld im Leiter führt zu sehr komplizierten Gleichungen und wurde nicht berücksichtigt. Da der Fluß in einer Schleife vorwiegend von dem Zusammenwirken aller Teilschleifen bestimmt wird, ist diese Vorgehensweise, wie die Ergebnisse zeigen, auch berechtigt.

1.1. Lösungsweg

Im Bild 2 ist das Ersatzschaltbild für vier Leiterschleifen angegeben. Die Selbst- und Gegeninduktivitäten sind zu berechnen. Für n-

Dr.-Ing. *Eberhard Höhne* ist Abteilungsleiter, Dr.-Ing. *Ulrich v. Fournier* ist Gruppenleiter, Dipl.-Ing. *Claus Pfitzner* ist Projektierungsingenieur im VEB Bergmann Borsig, Stammbetrieb des Kombinates Kraftwerksanlagenbau, Betriebsteil Projektierung Radebeul.



Variante	Leiterfolge / Stromaufteilung							
	1		2		3		4	
A1P1	L1	11	L1	89	L2	89	L2	11
A1P2	L1	35	L2	65	L1	65	L2	35
A1P3	L1	50	L2	50	L2	50	L1	50

Bild 1. Anordnung 1 (A 1) — Stromleiter 2 × 4 Flachschienen, 250 × 15 mm² Cu mit Angabe der untersuchten Leiterfolgen und der Stromaufteilung in %
L 1 Hinleiter; *L 2* Rückleiter

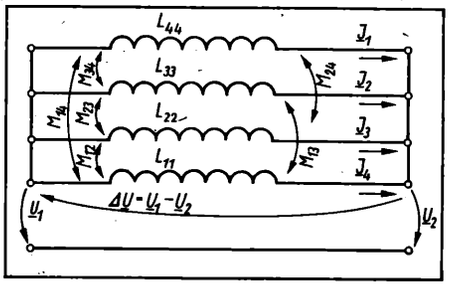


Bild 2
Magnetische Verkopplung von vier Leiterschleifen ($M_{mn} = M_{nm}$) L; M Induktivitäten der Schleife — Hin- und Rückleiter

Leiterschleifen gilt:

$$\begin{pmatrix} L_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} & \cdots & M_{1n} \\ M_{12} & L_{22} & M_{23} & M_{24} & \cdots & M_{2n} \\ M_{13} & M_{23} & L_{33} & M_{34} & \cdots & M_{3n} \\ M_{14} & M_{24} & M_{34} & L_{44} & \cdots & M_{4n} \\ \vdots & & & & & \\ M_{1n} & M_{2n} & M_{3n} & M_{4n} & \cdots & L_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta U \\ \omega \end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Unterschiedliche Phasenfolgen werden durch unterschiedliche Vorzeichen der Gegeninduktivitäten ausgedrückt [1]. In Matrizenschreibweise ergibt sich für Gleichung (1):

$$\omega \boldsymbol{M} \cdot \boldsymbol{I} = \Delta \boldsymbol{U}$$

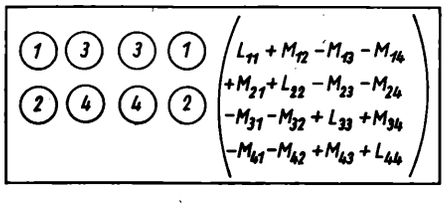
$$\boldsymbol{I} = (\omega \boldsymbol{M})^{-1} \Delta \boldsymbol{U}. \qquad (2)$$

Mit (2) kann die Stromaufteilung bei gegebenem ΔU berechnet werden. Da die bezogene Stromaufteilung auch bei anderen Werten für ΔU erhalten bleibt, ist bei einem vorgegebenen Gesamtstrom I der Spannungsabfall ΔU berechenbar. Mit den Strömen I_n in den Schleifen und dem Spannungsabfall ΔU kann jeder Schleife eine Betriebsinduktivität

$$L_{bn} = \frac{\Delta U}{\omega I_n} = \frac{U_1 - U_2}{\omega I_n} \qquad (3)$$

zugeordnet werden.

Bild 3. Lage der Leiterschleifen (1 — 1; 2 — 2 . . .) bei Nachbildung mit zwei Rundleitern je Schiene und Verknüpfungsmatrix ($M_{mn} = M_{nm}$) für Variante A 1 P 2



1.2. Nachbildung der Leiter

Die Berechnung magnetischer Felder von rechteckigen Stromschienen ist verhältnismäßig kompliziert [2]. Werden magnetische Felder von runden Leitern erzeugt, so sind sie der Berechnung einfacher zugängig. Aus diesem Grund werden für die magnetische Berechnung die Leiterprofile durch runde Voll- oder Rohrleiter ersetzt. Im Bild 1 sind die Leiter 1 und 2, die der gleichen Phase zugeordnet sind, beispielsweise durch vier Volleiter nachgebildet (gestrichelte Kreise). Je mehr Rundleiter zur Nachbildung verwendet werden, um so besser wird die Annäherung. Die Rundleiter sollten die Umrandung der zu ersetzenden Leiter nicht überschreiten. Gleichzeitig nehmen aber auch die Anzahl der Schleifen und die wirksamen Selbst- und Gegeninduktivitäten zu.
Diese Methode der Aufteilung in Rundleiter ist aber nur möglich, wenn die Schleifen eindeutig bestimmbar sind, d.h., jedem Hinleiter eindeutig ein Rückleiter zugeordnet werden kann. Dieses bedingt, daß der Gesamtaufbau des Leiterpaketes mindestens zu einer Ebene symmetrisch ist. Von praktischen Leiteranordnungen wird dieses erfüllt. Die Anordnung nach Bild 1 hat folgende Schleifen:

A 1 P 1 Leiter 1 mit 4 und 2 mit 3
A 1 P 2 Leiter 1 mit 4 und 2 mit 3
A 1 P 3 Leiter 1 mit 2 und 3 mit 4

Im Bild 3 sind z. B. die Schleifen für die Nachbildung jedes Leiters mit zwei Rundleitern und die dazugehörige Verknüpfungsmatrix angegeben. Bei anderen Phasenlagen ändern sich nur die Vorzeichen der Gegeninduktivität (z. B. bei Variante P 1 alle Elemente positiv).

1.3. Berechnung der Selbst- und Gegeninduktivitäten

Die Selbstinduktion einer Leiterschleife ist definiert durch

$$L_{11} = \frac{\psi_{11}}{I_1}. \qquad (4)$$

Es bedeuten bei ψ_{11} erster Index Ort der Wirkung, zweiter Index Ort der Ursache.
Um die Flußverkettung zu berechnen, ist die Feldstärkekomponente (H_x), die die z-y-Ebene senkrecht durchsetzt (Bild 4), zu ermitteln. Ausgehend von einem endlich langen Leiter ergibt sich für die Feldstärke des Hinleiters

$$H_x = \frac{I}{4\pi z}\left(\frac{y}{\sqrt{y^2+z^2}} + \frac{l-y}{\sqrt{(l-y)^2+z^2}}\right). \qquad (5)$$

Der Rückleiter bringt den gleichen Betrag. Da die Länge der Schleife sehr viel größer als ihr Abstand ist, werden die Verbindungen am Anfang und Ende vernachlässigt.
Die äußere Flußverkettung erhält man durch Integration

$$\psi_{11} = \Phi_{11} = 2\mu_0 \int_{y=0}^{y=l} \int_{z=R_a}^{z=Z_a} H_x \, dx \, dy. \qquad (6)$$

Hinzu kommt noch die innere Flußverkettung der Leiter. Der Leiter kann hierfür als unendlich lang angesehen werden, da der Abstand des betrachteten Punktes gegenüber der Leiterlänge sehr klein ist. Die Berechnung erfolgte nach [3] über den Energieinhalt des magnetischen Feldes.

Tafel 1. Technische Parameter der Hochstromverbindungen

Variante	Leiter	Länge m	$L_b \left\vert \frac{V_s}{A} \right.$	$L_b' \left\vert \frac{V_s}{Am} \right.$	$\underline{Z}/\Omega$	$\vert\underline{Z}'\vert \frac{\Omega}{m}$	$\frac{I_{min}}{I_{max}}$
A 1 P 1	2 × 4 × 250 × 15 mm² Cu-Flachschiene (Bild 1)	4	$6{,}6 \cdot 10^{-7}$	$1{,}65 \cdot 10^{-7}$	$9{,}5 \cdot 10^{-6} + j\,2{,}07 \cdot 10^{-4}$	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	0,12
A 1 P 2			$4 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$9{,}5 \cdot 10^{-6} + j\,1{,}25 \cdot 10^{-4}$	$3{,}12 \cdot 10^{-5}$	0,54
A 1 P 3			$3{,}2 \cdot 10^{-7}$	$0{,}8 \cdot 10^{-7}$	$9{,}5 \cdot 10^{-6} + j\,1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$	1,0
A 2 P 1	2 × 8 × 300 mm² Al-Rundleiter (Bild 6)	2,5	$6{,}1 \cdot 10^{-7}$	$2{,}45 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-5} + j\,1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	0,14
A 2 P 2			$2{,}6 \cdot 10^{-7}$	$1{,}06 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-5} + j\,8{,}3 \cdot 10^{-5}$	$4{,}1 \cdot 10^{-5}$	0,55
A 2 P 3			$3{,}6 \cdot 10^{-7}$	$1{,}45 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-5} + j\,1{,}14 \cdot 10^{-4}$	$5{,}1 \cdot 10^{-5}$	0,83
A 2 P 4			$1{,}92 \cdot 10^{-7}$	$0{,}77 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-5} + j\,6{,}03 \cdot 10^{-5}$	$3{,}4 \cdot 10^{-5}$	0,82
A 3	2 × 14 × 240 mm² Cu	4	$1{,}7 \cdot 10^{-7}$	$0{,}43 \cdot 10^{-7}$	$4{,}25 \cdot 10^{-5} + j\,5{,}4 \cdot 10^{-5}$	$6{,}8 \cdot 10^{-5}$	0,69

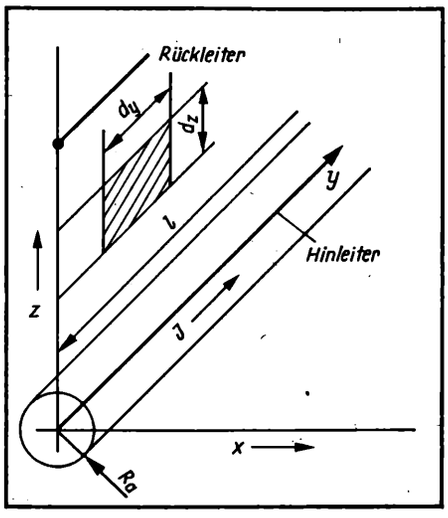


Bild 4
Zur Berechnung der Selbstinduktion

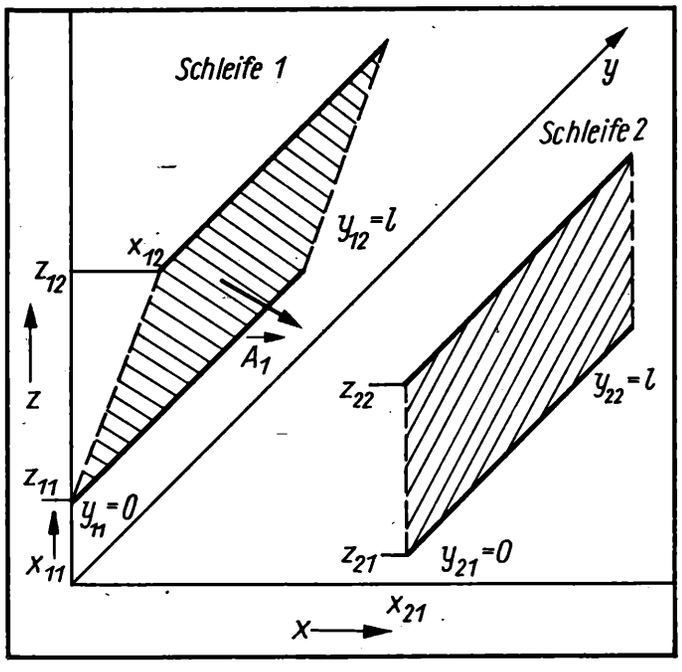


Bild 5
Zur Berechnung der Gegeninduktion

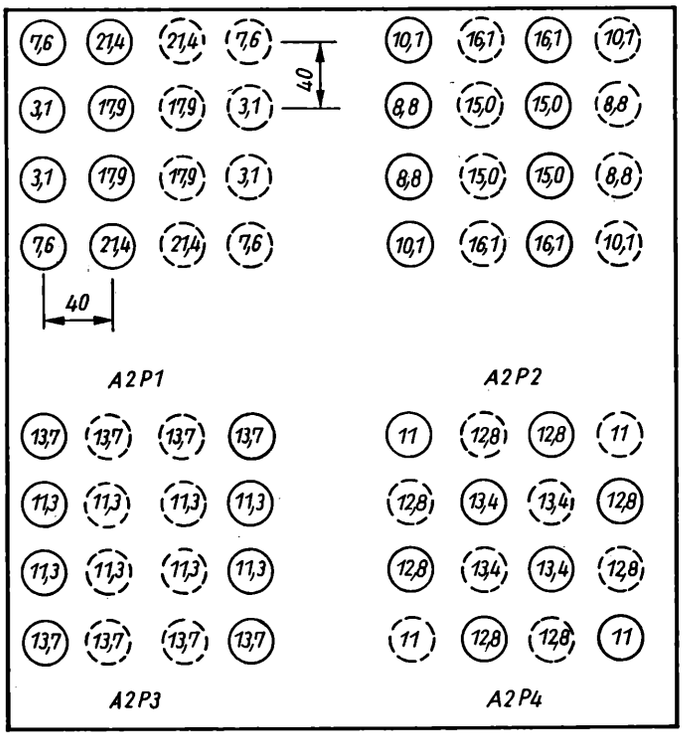


Bild 6
Anordnung 2 (A 2) – Stromleiter 2 × 8 Leitungen, 300 mm² Al mit Angabe der untersuchten Leiterfolgen und der Stromaufteilung in %
○ *L 1* (Hinleiter;
◌ *L 2* (Rückleiter)

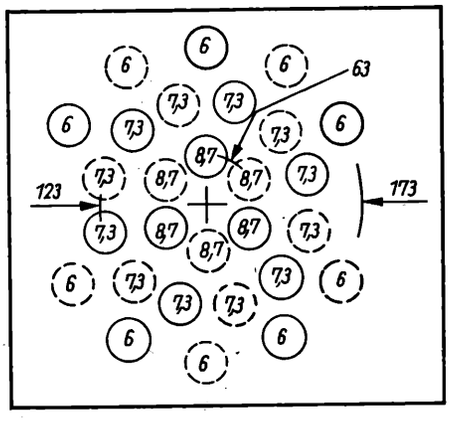


Bild 7
Anordnung 3 (A 3) – Stromleiter 2 × 14 Leitungen, 240 mm² Cu mit Angabe der Leiterfolgen und der Stromaufteilung
○; ◌ wie Bild 6

Für die gesamte Selbstinduktivität ergibt sich:

$$L_{11} = \frac{\mu_0}{\pi}\left[\sqrt{l^2+Z_2^2} - \sqrt{l^2+R_a^2} - Z_2 + R_a + l\cdot\ln\frac{l+\sqrt{l^2+R_a^2}}{l+\sqrt{l^2+Z_2^2}}\,\frac{Z_2}{R_a} + l\left(\frac{R_a^2+R_i^2}{4\,(R_a^2-R_i^2)} - \frac{R_i^2}{(R_a^2-R_i^2)} - \frac{R_i^4}{(R_a^2-R_i^2)^2}\ln\frac{R_a}{R_i}\right)\right]. \tag{7}$$

Die Gegeninduktivität M_{nm} zweier Leiterschleifen ist definiert durch den Flußanteil Φ_{nm}, der von der Leiterschleife m erzeugt wird und die Leiterschleife n durchsetzt, geteilt durch den erregenden Strom I_m.

$$M_{nm} = \frac{\Phi_{nm}}{I_m} = \frac{\psi_{nm}}{I_m}. \tag{8}$$

Vom Grundsatz her geht man genauso vor wie bei der Berechnung der Selbstinduktivität. Man berechnet die von dem Hin- und Rückleiter erzeugten Flußanteile, die die Leiterschleife 2 senkrecht durchsetzen. Dabei wird wieder von unendlich langen Leitern ausgegangen. Die Gegeninduktivität zweier endlicher, gleich langer Schleifen (s. Bild 5) ergibt sich dann zu:

$$M_{12} = M_{21} = \frac{\mu_0}{2\pi}\Bigg\{+\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{11})^2+(z_{22}-z_{11})^2} + \frac{l}{2}\ln\frac{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{11})^2+(z_{22}-z_{11})^2}-l}{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{11})^2+(z_{22}-z_{11})^2}+l} - \sqrt{l^2+(x_{21}-x_{11})^2+(z_{21}-z_{11})^2}$$

$$- \frac{l}{2}\ln\frac{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{11})^2+(z_{21}-z_{11})^2}-l}{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{11})^2+(z_{21}-z_{11})^2}+l} - \sqrt{(x_{21}-x_{11})^2+(z_{22}-z_{11})^2} + \sqrt{(x_{21}-x_{11})^2+(z_{21}-z_{11})^2} - \sqrt{l^2+(x_{21}-x_{12})^2+(z_{22}-z_{12})^2}$$

$$- \frac{l}{2}\ln\frac{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{12})^2+(z_{22}-z_{12})^2}-l}{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{12})^2+(z_{22}-z_{12})^2}+l} + \sqrt{l^2+(x_{21}-x_{12})^2+(z_{21}-z_{12})^2} + \frac{l}{2}\ln\frac{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{12})^2+(z_{21}-z_{12})^2}-l}{\sqrt{l^2+(x_{21}-x_{12})^2+(z_{21}-z_{12})^2}+l}$$

$$+ \sqrt{(x_{21}-x_{12})^2+(z_{22}-z_{12})^2} - \sqrt{(x_{21}-x_{12})^2+(z_{21}-z_{12})^2}\Bigg\}. \tag{9}$$

Mit den Gleichungen (7) und (9) können alle Elemente der Gleichung (1) berechnet werden. In Auswertung der Gleichung (1) erhält man die Stromaufteilung in den Leiterschleifen und die Betriebsinduktivitäten.

2. Beispiele und Ergebnisse

Mit diesem Verfahren wurden mehrere Hochstromverbindungen überprüft. Einige Ergebnisse sollen hier vorgestellt werden.
Im Bild 1 ist eine Hochstromverbindung dargestellt, die aus je zwei Cu-Flachschienen von $2 \times 250 \times 15$ mm² für Hin- und Rückleiter (4 m lang) besteht. Jede Doppelschiene wurde durch 4 Rundleiter nachgebildet. Die berechneten Stromaufteilungen auf die Einzelschienen sind für drei verschiedene Leiterfolgen im Bild 1 in Prozent des Gesamtstromes eingetragen. Im Bild 6 sind vier Hochstromverbindungen, bestehend aus je 8 isolierten Rundleitern für Hin- und Rückleiter von 300 mm² Querschnitt, aus Aluminium aufgezeichnet. Die Varianten unterscheiden sich nur durch unterschiedliche Leiterfolgen. Im Bild 6 sind für alle Varianten bei 2,5 m Länge die berechneten Stromaufteilungen auf die Einzelleiter in Prozent des Gesamtstromes angegeben. Bild 7 enthält einen Leiter, der aus 2×14 Rundleitern von 240 mm² Cu besteht. Die 28 Leiter sind auf einer Kreisfläche angeordnet, und die Leiterfolge ist maximal geschachtelt. Für einen 4 m langen Leiter sind die Ergebnisse in Prozent eingetragen.
In der Tafel 1 sind die berechneten Ergebnisse zusammengestellt. Die angegebenen Werte der Induktivität und Impedanz, bezogen auf eine Leiterlänge von 1 m, können nicht für andere Gesamtlängen der Stromschienen verwendet werden. Vor allem bei kürzeren Schienen sind größere Abweichungen und auch andere Stromaufteilungen zu erwarten. Das Verhältnis des kleinsten zum größten Leiterstrom einer Verbindung ist in der letzten Spalte der Tafel 1 angegeben. Hieraus ist ersichtlich, daß die Phasenfolge einen wesentlichen Einfluß auf die Stromaufteilung hat. Werte unter 0,5 sind für die Praxis auszuschließen. Große Verschachtelungen der Hin- und Rückleiter bringen gute Stromaufteilungen, aber oft auch Schwierigkeiten bei der konstruktiven Ausbildung der Schienenanschlüsse.

Liegt der induktive Widerstand ωL_b in der Größenordnung des ohmschen Widerstandes (z. B. bei Varianten A2 P4 und A3), so ist der Spannungsabfall über $\underline{U} = \underline{I} \cdot \underline{Z}$ zu berechnen.
Grundsätzlich ist es auch möglich, bei der Ermittlung der Stromaufteilung den ohmschen Widerstand zu berücksichtigen. Dann werden die Gleichungen (1) und (2) komplex, und der Rechnungsaufwand steigt. In den meisten praktischen Fällen ist $\omega L_b \gg R$, so daß der Fehler in der Stromaufteilung bei Vernachlässigung von R unbedeutend ist. Dieses Ergebnis wird auch durch praktische Messungen bestätigt [4].

3. Zusammenfassung

Das vorgestellte Berechnungsverfahren berücksichtigt ausschließlich den bei Stromschienen mit kleinen Abständen wirksamen Proximity- bzw. Näheeffekt. Die Nachbildung der Leiter durch mehrere Rundleiter gestattet auch die Stromdichteunterschiede in einem Leiter, welche durch den Proximity-Effekt hervorgerufen werden, zu berechnen.
Wie der Vergleich mit Messungen zeigt, liefert dieses Verfahren für die Praxis ausreichend genaue Ergebnisse, d. h., die Widerstandserhöhungen und Induktivitätsveränderungen durch die Stromverdrängung bei 50 Hz können bei den Stromschienen gegenüber der Nähewirkung vernachlässigt werden.
Anwendungsbereite Programme zur Berechnung der Stromaufteilung, des Spannungsabfalls und der magnetischen Feldstärke liegen bei den Autoren vor.

Literatur

[1] *Lunze, K.:* Einführung in die Elektrotechnik. Berlin: Verlag Technik 1985
[2] *Grünwald, E.:* Induktivitätsberechnung besonderer Schienenanordnungen. Elektrotechnik und Maschinenbau 72 (1989) 14, S. 317–322
[3] *Mierdel, G.; Drechsler, E.:* Theoretische Elektrotechnik; Lehrbriefe für das Fernstudium. Lehrbrief 5. Berlin: Verlag Technik
[4] *Wagner, K.; Nestler, R.; Gebauer, M.; Gerlach, G.:* Leitungen zur Übertragung hoher Wechselströme. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 5, S. 176–178

EA 5769

FACHTAGUNGEN

XXI. Kraftwerkstechnisches Kolloquium

bzw. 5. Kolloquium „Meßtechnik für thermische Energieanlagen" an der TU Dresden

Das Kraftwerkstechnische Kolloquium der Sektion Energieumwandlung fand in der Zeit vom 28. bis 29. 11. 1989 an der Technischen Universität Dresden statt. Das Kolloquium stand unter dem Thema: „Meß- und Automatisierungstechnik für die rationelle Betriebsführung von thermischen Energieanlagen". Damit war diese Veranstaltung gleichzeitig das meßtechnische Kolloquium, das alle drei Jahre vom Bereich Meß- und Automatisierungstechnik durchgeführt wird. Mitveranstalter waren die KDT (WGMA, WTG Energiewirtschaft, Kraftwerksanlagenbau) und der Rat des Forschungsprogramms Energiewirtschaft im Ministerium für Hoch- und Fachschulwesen. Zur Veranstaltung konnten 420 Teilnehmer aus der DDR, der UdSSR, aus Polen, Bulgarien, Ungarn, Jugoslawien, Vietnam und aus der Bundesrepublik Deutschland begrüßt werden.
Aus dem überraschend großen Vortragsangebot (123 Beiträge aus 7 Ländern) wurden vom Programmkomitee insgesamt 8 Plenarvorträge ausgewählt, denen jeweils einige Kurzvorstellungen von Postern folgten. Anschließend war die Diskussion vor allem der dem jeweiligen Plenarvortrag zugeordneten Postern möglich. Die Kurzreferate aller Beiträge konnten vor der Veranstaltung den Teilnehmern zugeschickt werden. Von den Postern wurden Mikrofiches angefertigt und interessierten Teilnehmern zur Veranstaltung übergeben. Einige Beiträge werden in dieser Zeitschrift und in der „Energietechnik" (1990/Heft 6) veröffentlicht.
Es würde zuviel Platz beanspruchen, um alle Beitragstitel zu nennen oder gar zu referieren, deshalb werden einige thematische Zusammenhänge und Besonderheiten genannt. Dabei werden die Kurzzeichen verwendet, mit denen die Beiträge im Programm, im Kurzreferateheft und auf den Microfiches gekennzeichnet sind.
Begonnen wurde mit Übersichtsvorträgen zu aktuellen Lösungen und Aufgaben der Meß- und Automatisierungstechnik in Braunkohle- und Kernkraftwerken (EV1 und EV2) sowie an der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden (EV3).
Der Themenblock *Meßtechnik* umfaßte 77 Beiträge. Sie könnten wie folgt gesehen werden:

a) Meßwerterfassung (MP1-6, MP13, MP70)
b) im Kraftwerksbetrieb erprobte Meßtechnik für Drehzahl, Winkelstellung und Lageabweichung (MP7, 8, 11, 12); für Druck, Differenzdruck, Füllhöhe und Temperatur von Fluiden (MP32, 50—52, 71); für Verbrennungsluftanteil (MP64) und Abgaszusammensetzung (MP34)
c) Meßtechnik für Untersuchungen an in Betrieb oder in Entwicklung befindlichen Kraftwerkselementen: Piezoelektrische Sensoren für Kraft, Druck und Körperschall (MP14, 15); Schalldruckmessung in Feuerräumen (MP16), Schwingungsmessung mit optoelektronischem Positionierschaltkreis (MP9) und Abstandsmessung mit faseroptischem Reflexsensor (MP10)
Mehrere Beiträge berichteten über die an Wirbelschichtfeuerungen eingesetzte Meßtechnik für Temperaturverteilung, Druckpulsation als Maß der Wirbelbettfluidik, Feststoffbeladung und Gasanalyse (MP26, 35, 36, 37, 54, 55, 61, 75). Auf dem Gebiet der Gassensoren wurden O_2-Festelektrolytsensoren mit Temperaturkompensation und für die Flammenturbulenzmessungen sowie HL-Gassensoren für Glimmbrandmelder vorgestellt (MP62, 63, 65). Für die Staubmessung erweitert die faseroptische Sonde die bisher eingesetzten Verfahren (MP57, 58, 60). Radiometrische Verfahren bewährten sich außer bei Staubmessungen für die Messung zugeführter Kohlemengen und von Verweilzeiten (MP53-56, 58, 59).
d) Meßtechnische Entwicklungen für Kraftwerke und andere thermische Anlagen
Unter diesem Punkt werden Entwicklungen für die Meßgrößen Durchfluß, Temperatur u. a. erwähnt, womit zum Teil die angegebene Einteilung gesprengt wird, aber andererseits thematische Zusammenhänge nicht zerstückelt werden.
Für das Problem Durchflußmessung in großen Querschnitten wurden Erfahrungen mit integrierendem Staurohr, Ultraschall-Verfahren und einer LDA-Sonde mitgeteilt (MP38, 40, 42, 49). Weiterhin interessierten die Aussichten von clamp-on-Verfahren und Coriolis-Massestrommessern sowie Meßwertverarbei-

tung an Wirbelfrequenzzählern und Prüfeinrichtungen (MP43-46). Bei thermischen und optischen Sonden für Strömungen mit zwei Phasen ging es um die Interpretation der Meßwerte (MP39, 41, 47-49).

Im Bereich der Temperaturmessung dominierten die Erfassung des Wärmetransports über Strahlung in Feuerungen (MP19-22) und über Konvektion an Turbinenteilen (MP23-25). Über Wärmestrommessungen können die Feststoffbelastung in Wirbelschichten und der Verschlackungsgrad kontrolliert werden (MP75, DP12). An Meßmitteln wurden Widerstandsthermometer und in-situ-Wärmeleitfähigkeitsmeßgeräte vorgestellt (MP27-30).

Für Feuchtemessungen in Wasserdampfströmungen und in der Klimatechnik bewähren sich Kapazitäts- und Leitfähigkeitsverfahren (MP66-68).

Für den Themenblock *Diagnostik* war es vorteilhaft, daß im Einführungsvortrag die 12 Poster (DP1-12) referiert wurden. Für Aufgaben wie Diagnostizierung technischer und thermodynamischer Veränderungen, Einschätzung der Fahrweise und Ermittlung der Restlebensdauer hochbelasteter Bauteile wurden meß- und rechentechnische Beispiele vorgestellt. Die vorhandene Prozeßmeßtechnik wird erst nach experimenteller Bestätigung einer Diagnosekonzeption erweitert oder durch mobile Diagnosetechnik ergänzt. Die Unsicherheit der Diagnostik ist nicht in erster Linie die der Meßgrößenerfassung, sondern die der Interpretation. Es dominierten thermodynamische Rechenmodelle und Signalverarbeitungen nach Schwingungsmessungen.

Der Themenblock *Automatisierung* enthielt 36 Beiträge. Es ging um die Automatisierungsebenen Elektroenergie- und Fernwärmenetze (AP2, 4, 12, 13), Kraftwerksblock (AV1, AP3,8 24-34), Dampfturbine (AP9, 10) und Heizwärmeverbraucher (AP21-23) sowie um deren Verknüpfung. Die Rechentechnik erlaubt die Realisierung optimaler Steuerungsalgorithmen für alle beteiligten Komponenten, hinzu kommen Protokollierung und Störungsanalyse. Vorgestellt wurden meß- und rechentechnische Lösungen und Details.

Zum Beispiel ist die Restlebensdauerberechnung anhand von über der Zeit registrierten Meßgrößen zeitraubend und wurde selten durchgeführt. Diese für Sicherheit und Reparaturplanung wichtige Aufgabe kann mit der Rechentechnik rationell gelöst werden, wobei die Probleme der Wandtemperaturmessung und Berechnungssicherheit für jeden Fall neu zu lösen sind (AV2, AP17-19). Für die wichtig gewordenen Wirbelschichtfeuerungen wurden dynamische Modelle vorgestellt (AP27-29). Die Regelung der Speisewasserzufuhr an Dampferzeugern gehört zu den noch nicht gelösten Problemen, das zeigen auch die Beiträge zur Meßtechnik (MP50-52, 71; AP24, 25). Entsprechend dem Umstand, daß für die rationelle Führung des komplizierten Systems Kraftwerk viele Meßgrößen notwendig sind, war das Informationsangebot des Kolloquiums umfangreich. Der große Anteil der Informationsvermittlung über Poster verlangte von Autoren und Interessenten mehr Mühe als bei den Plenarvorträgen, dem stand aber der Vorteil des direkten Kontakts gegenüber.

Eine Zusammenstellung aller Beiträge mit Angabe der verfügbaren Mikrofiches sowie Kurzreferate-Hefte (Restbestand) sind erhältlich bei

Technische Universität Dresden
Sektion Energieumwandlung
AG Kraftwerkstechnik
Mommsenstr. 13
Dresden
DDR — 8027

E. Kaiser, Dresden EK 4112

Antriebsdynamisches Verhalten von Drehstromtraktionsantrieben

149. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 12. Dezember 1989

Dr.-Ing. *Uwe Henning*, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Kombinates LEW Hennigsdorf an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden, berichtete über die Konzeption technisch-konstruktiver Lösungen für Drehstromantriebe bei Lokomotiven. Ausgehend von der Betriebs-, Gleis- und Netz-Freundlichkeit der Drehstromantriebstechnik gehen heute die Impulse für die Anwendung im Lokomotivbau vor allem von den GTO-Transistoren aus. In die Betrachtungen der Drehstromantriebstechnik sind

— Transformator
— Netzstromrichter
— Zwischenkreisumrichter
— Meß-, Steuer- und Regelungstechnik
— Fahrmotor
— mechanischer Antrieb

einzubeziehen.

Bei den Untersuchungen sind sieben bis neun elektrische und mechanische Schwingungssysteme aufeinander abzustimmen. Während bisher die Optimierung der Parameter in praktischen Versuchen ermittelt wurde, ist heute die Aufgabe gestellt, unter Nutzung der modernen Rechentechnik geeignete Simulationssysteme zu schaffen. Bei sinnvoll gewählter Modularstruktur des Simulationsprogramms muß die Simulation des Systems bei determinierter und stochastischer Anregung vom Fahrdraht bis zum Rad/Schiene-Kontakt durchgeführt werden. Dabei ist für den Netzstromrichter von einem 4-Quadranten-Steller mit sinusförmigem Netzstromverlauf auszugehen. Das antriebsdynamische Verhalten wird wesentlich durch das verwendete Regelverfahren bestimmt. Für einen feldorientiert geregelten Antrieb stellte der Referent den simulierten Drehmomentenverlauf über der Zeit bildlich vor.

In einem gesonderten Abschnitt behandelte Dr. *Henning* die Reibungsprobleme, da ohne Einbeziehung der Gesetzmäßigkeiten des Rad/Schiene-Verhaltens eine rechnergestützte Optimierung geregelter Drehstromantriebe nicht möglich ist. Neben einer transienten Änderung der Belastungsaufteilung auf verschiedene Fahrmotoren wurde für die Simulation des Reibverhaltens ein Zufallsgrößengenerator angewendet und auch das dynamische Verhalten beim Überfahren von Schienenstößen untersucht. Wie die Ergebnisse der für Stromrichter-Havariefälle durchgeführten Untersuchungen zeigten, unterscheiden sich die Antriebsbeanspruchungen je nach Anordnung der Fahrmotoren in den Drehgestellen. Weiterhin haben Momentanmessungen ergeben, daß Stromrichter-Havariefälle zu Zerstörungen von Bauteilen führen können, d.h., Getriebe-Kleinrad-Belastungsmomente können den zulässigen Bereich überschreiten und zu Schäden führen.

Bei Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse ist festzustellen, daß

— Vordrosseln die Antriebsbelastung reduzieren können,
— die Einführung von Drehelastizitäten in den Antrieb und Veränderungen der Getriebeauslegung zu Verbesserungen führen können,
— am Schwingungsmodell des Tatzlagerantriebes nachgewiesen wurde, daß eine weitgehende Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit experimentell ermittelten Werten vorliegt.

Im weiteren ging Dr. *Henning* auf ein Strukturmodell zur Radschlupfregelung ein und erläuterte Konzepte einer selbstadaptierenden Radschlupfregelung.

Die grafische Darstellung der Drehgestellzugkraft als Funktion der Zeit zeigt, daß mit Erhöhung der Drehsteifigkeit der Drehstromantriebe günstigere Verhältnisse in bezug auf die Kraftschlußausnutzung geschaffen werden können.

Zur Problematik des Schleuderns, das durch Kraftschlußüberschreitung eintritt, ist bei Parallelbetrieb der Asynchronfahrmotoren ein Übergang des Arbeitspunktes in den instabilen Bereich zu verzeichnen. Bei Erfassung der für diese Reib- bzw. Stick-Slip-Schwingungen typischen Frequenzen kann der Schleudervorgang durch entsprechende Maßnahmen vermieden werden. Von Vorteil wäre insbesondere eine haftwertorientierte Sollwertbegrenzung, die ein Anfahren an der Kraftschlußgrenze ermöglichen sollte. Zu diesem Zweck sind jedoch noch umfangreiche Untersuchungen an Schleuderschutzsystemen notwendig. In einem Bild wurde die Versuchsanordnung zur Untersuchung der Rad-Schiene-Haftreibung dargestellt. Dabei können Einflüsse wie Achslastschwankungen beliebig vorgegeben oder ausgeschlossen werden. Der Nachteil bisher bekannter Schleuderschutzsysteme besteht darin, daß sie immer erst dann wirksam werden, wenn der Schleudervorgang bereits beginnt. Die Zielstellung muß jedoch eine vorbeugende Parameterbeeinflussung sein, um sich anbahnende Schleudermerkmale durch sofortige Erkennung für die Einleitung entsprechender Maßnahmen zu nutzen. Für die Realisierung dieser Aufgaben sind jedoch besonders schnelle Sensoren und mikroelektronische Auswerteeinrichtungen erforderlich.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EK 4126

Wir übernehmen kurzfristig
die Fertigung von Transformatoren,
Spulen und Übertragern bis 60 VA
ab 50 Stück.
PGH „Elektro-Rundfunk-Fernsehen",
PSF 36
Weißwasser, 7580

PATENTE

Gleichstromwandler

DD-WP: 274 703
Int.-Cl.: H 01 F 40/12
Anmeldetag: 05. 08. 88
Anmelder: VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Die Erfindung betrifft einen Gleichstromwandler nach dem Nullflußprinzip mit einem rahmenförmigen Magnetkern, bei dem zwei gegenüberliegende Kernschenkel mit sekundären Wicklungen und Feldsensoren versehen sind und ein Primärleiter aus Flachschienenmaterial durch das Kernfenster geführt ist.

Es sind Gleichstromwandler nach dem Nullflußprinzip bekannt, die als Einleiterwandler ausgeführt und auf eine quasi die Primärwicklung darstellende Stromschiene aufsteckbar sind. Diese elektronischen Gleichstromwandler sind auch unter der Bezeichnung Allfrequenz-Stromwandler bekannt, da sie eine Abbildung von Gleichströmen, Wechselströmen und Mischströmen gestatten. Der Wandler besteht aus einem rahmenförmigen Magnetkern, der im Kernbereich mit Feldsensoren, wie Hallelemente oder Indikatorwicklungen, versehen ist und die sekundäre Wicklungen, wie Vormagnetisierungswicklung, Kompensationswicklung oder Induktionswicklung, trägt (DD-PS 247 590). Durch das Kernfenster ist der Primärleiter geführt. Die Feldsensoren messen den Magnetisierungszustand des Kernes und regeln über einen Kompensationsverstärker das Durchflutungsgleichgewicht des Kernes. Bei Primärströmen bis 600 A arbeitet der Gleichstromwandler einwandfrei. Bei sehr hohen Strömen kommt es jedoch zu Meßwertverfälschungen, da das Feld des zurückgeführten Primärleiters einseitig auf den Wandler wirkt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Gleichstromwandler der eingangs genannten Art anzugeben, der einfach montiert werden kann und in der Lage ist, ohne Meßwertverfälschung sehr hohe Ströme zu messen.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Primärleiter aus mehreren, nahezu die gesamte Kernfensterbreite einnehmenden, massiven Flachschienen für sehr hohe Ströme besteht und nach dem Durchtritt durch das Kernfenster symmetrisch zueinander um jeweils einen bewickelten, den Feldsensor tragenden Kernschenkel geführt und wieder vereint ist, wobei über dem Primärleiteranfang ein das Aufschieben des mit zumindest den sekundären Wicklungen und den Feldsensoren versehenen rahmenförmigen Magnetkernes ermöglichender Freiraum verbleibt.

Unter Umständen können aus technologischen Gründen die massiven Flachschienen aus mehreren Einzelleitern gebildet werden.

D. Ufert, Berlin EK 4164

Kurzschlußschutz bei aufgestockten Spannungen

DD-WP: 274 716
Int.-Cl.: H 02 H7/12
Anmeldetag: 10. 08. 88
Anmelder: VEB Robotron-Elektronik, Dresden

Die Erfindung betrifft eine Schutzschaltung für Schaltnetzteile, die aus bestimmten Gründen auf eine andere Spannung aufgestockt sind, die im Kurzschlußfall der Ausgangsspannung den Gesamtkomplex sicher schützt. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Kurzschlußfestigkeit eines aufgestockten Schaltreglers so zu gewährleisten, daß im Kurzschlußfall auch die Primärspannung abgeschaltet wird und nach Aufhebung desselben, diese automatisch zugeschaltet wird, wobei der dazu nötige Schalter gleichzeitig eine Vorstabilisierung der Primärspannung vornimmt.

Die Aufgabe wird gelöst, indem zwischen die Primärgleichrichter und den eigentlichen Schaltregler ein Thyristor geschaltet wird, der im Betriebszustand über einen Verstärker leitend gesteuert wird und der im Kurzschlußfall über Verstärker und Diode zur Ausgangsspannung gesperrt wird. Damit ist im Kurzschlußfall auch die Primärspannung des Reglers abgeschaltet. Es tritt keine Gefährdung von Schaltungen und Bauelementen mehr auf. Da beim Anlauf der Schaltung ebenfalls keine Ausgangsspannung vorhanden ist und es einer Kurzschlußsimulation gleichkommen würde, wird über einen weiteren Schaltungskomplex dieser Zustand erkannt und der Thyristor leitend gesteuert, damit der Schaltungskomplex anlaufen kann. Durch eine Zenerdiode, die im Prinzip zwischen Primärspannung und Verstärker sitzt, wird während des Betriebszustandes gleichzeitig die Primärspannung unabhängig von der Eingangsspannung auf einen maximalen Betrag geregelt und somit eine optimale Arbeitsweise des Schaltreglers ermöglicht.

D. Ufert, Berlin EK 4168

Aufhängevorichtung von Seilüberspannungen in Hochspannungsschaltanlagen

DD-WP: 274 713
Int.-Cl.: H 02 G 7/20
Anmeldetag: 05. 08. 88
Anmelder: VEB Energiebau, Dresden

Die Erfindung betrifft eine absturzgesicherte Aufhängung von Seilüberspannungen mit Zweiseil-Bündelleitern über Anlagenteilen von Hochspannungsschaltanlagen. Mit dem weiteren Einsatz von Langstabisolatoren anstelle der als besonders bruchsicher angeführten Isolatorketten für Seilüberspannungen in Hochspannungsanlagen kommt es verstärkt durch Bruch der Isolatoren zum Absturz der Leiterseile auf die darunterliegenden Anlagenteile, wobei stets erhebliche Schäden an der Anlage und damit Versorgungsunterbrechungen zu verzeichnen sind. Die daraufhin eingesetzten Doppelketten konnten die Absturzgefahr für die Seilüberspannungen ebenfalls nicht vollständig beseitigen. Besonders beim Einsatz von horizontalen Bündelleitern an Doppelketten kommt es beim Bruch eines Langstabisolators der Doppelkette in der Phase der Kraftumlagerung zu Bewegungen, in deren Folge der verbliebene Langstabisolator durch Querbeschleunigungen solchen Biegemomenten ausgesetzt wird, die zum Bruch der gesamten Doppelkette und damit zum Seilabsturz führen können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Aufhängevorrichtung für Seilüberspannungen in Hochspannungsanlagen vorzuschlagen, die bei einfachem und wartungsfreiem Aufbau einen sicheren Schutz des verbleibenden Isolators einer gebrochenen Doppelkette gewährleistet. Erfindungsgemäß ist ein an sich bekannter Seilklemmenträger für den Zweiseilbündelleiter vorgesehen, der, wie an sich bekannt, plattenförmig ausgebildet ist. Die mechanische Verbindung zwischen den Langstabisolatoren der Doppelkette und dem Seilklemmenträger erfolgt allein über laschenartige Verbindungsstäbe, wobei von den Langstabisolatoren jeweils ein Verbindungsstab mit geringer Abweichung von der Längsachse des Langstabisolators zum Seilklemmenträger geführt ist. Zwischen diesen Verbindungsstäben sind außerdem weitere, sich kreuzende Verbindungsstäbe zwischen den Langstabisolatoren und dem Seilklemmenträger angeordnet.

D. Ufert, Berlin EK 4166

Kombinationsverteilerleiste für Leitungsnetze

DD-WP: 274 517
Int.-Cl.: H 01 R 9/26
Anmeldetag: 28. 07. 88
Anmelder: VEB Funk- und Fernmelde-Anlagenbau Berlin

Die Erfindung betrifft eine Kombinationsverteilerleiste für Leitungsnetze, die in Verteilungen von Informationsanlagen in der Netzebene, z. B. in Etagenverteilern, Fernmeldeverteilern und Endverschlüssen zum Einsatz kommt.

In Netzverteilungen von Informationsanlagen kommen Verteilerbauelemente zum Einsatz, die nur für eine Anschlußtechnologie ausgelegt sind bzw. für den Anschluß von Erddrähten stark begrenzte Anschlußmöglichkeiten besitzen. Es sind Verteilerbauelemente mit Schraub- oder Lötanschlüssen bekannt. In den letzten Jahren wurden in großem Maße Verteilerbauelemente mit Schneidklemmen eingesetzt. Dabei sind bei den bekannten Verteilerbauelementen die Anschlußelemente einer Anschlußtechnologie nicht durch Anschlußelemente einer anderen Anschlußtechnologie austauschbar. In vielen Verteilerbauelementen ist die Auswechselbarkeit von Anschlußelementen grundsätzlich ausgeschlossen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Kombinationsverteilerleiste für den Einsatz in Netzen von Informationsanlagen zu schaffen, die es ermöglicht, Anschlußelemente für unterschiedliche Anschlußtechnologien aufzunehmen, um damit starre und flexible Kabel- und Leitungsadern unterschiedlichen Nenndurchmessers bzw. unterschiedlichen Leitermaterials anschließen zu können.

Fortsetzung auf Seite 195

AUS ANDEREN ZEITSCHRIFTEN

PCIM Europe — eine neue Zeitschrift für Leistungselektronik und Antriebstechnik[1])

An den Anfang des ersten Heftes (Februar/März 1989) stellten Herausgeber *Zieroth* und Chefredakteur *Scharf* Näheres zum Umfeld und zu den Absichten der Zeitschriftengründung, worauf im folgenden zusammenfassend eingegangen werden soll.

Der Name PCI (Power Conversion International) stand erstmalig im Jahre 1979 in München für eine internationale Konferenz. Zur Leistungselektronik kam 1982 die Antriebstechnik mit der ersten MOTOR-CON. Beide Konferenzen wurden in den Folgejahren fortgeführt, bis 1989 eine Zusammenlegung unter der Bezeichnung PCIM (Power Conversion and Intelligent Motion) stattfand. Die folgende Tafel gibt einen zeitlichen Überblick dieser Veranstaltungen.

Jahr	Konferenz	Ort
1979	PCI	München
1980	PCI	München
1982	PCI und MOTOR-CON	Genf
1983	PCI und MOTOR-CON	Genf
1984	PCI	Paris
1985	MOTOR-CON	Hannover
1986	PCI	München
1987	MOTOR-CON	Hannover
1988	PCI und MOTOR-CON	München
1989	PCIM	München

Die Konferenz „Power Conversion and Intelligent Motion" soll fortan jährlich stattfinden; PCIM '90 ist für den 25.—28. Juni 1990 in München geplant.

Mit der Zeitschrift PCIM Europe wird beabsichtigt, den fachlichen Austausch zwischen den Konferenzen fortzuführen. Als Vorbild diente dabei die Zeitschrift PCIM USA, die seit über 10 Jahren erscheint und gegenwärtig eine Auflagenhöhe von 36000 Exemplaren erreicht.

Die spezielle thematische Ausrichtung von PCIM Europe auf

— Leistungselektronik,
— Antriebstechnik und
— Analogtechnik

setzt ein entsprechend großes Verbreitungsgebiet voraus. Das Ziel eines gemeinsamen europäischen Binnenmarktes bis 1992 spielt in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle.

Die Zeitschrift wendet sich an Entwickler und an leitende Mitarbeiter. Es werden aktuelle Applikationen vorgestellt, Trends in Forschung und Entwicklung aufgezeigt sowie Produkt- und Marktinformationen gegeben.

Über ausgewählte Arbeiten von PCIM Europe wird an dieser Stelle berichtet werden.

F. Fischer, Dresden EK 4134

[1]) Herausgeber: INCOM Zieroth & Partner, Nürnberg
Erscheinungsweise: Zweimonatlich
Sprache: Englisch (mit Kurzfassungen in Deutsch, Französisch und Italienisch)

Fortsetzung von Seite 194

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Innenseiten einer u-förmigen Verteilerleiste Kammern aufweisen, in welche Anschlußelemente für gleiche oder unterschiedliche Anschlußtechnologien eingesetzt sind, die durch eine in Längsrichtung des Grundkörpers einschiebbare Verschlußleiste befestigt werden. Durch die in die seitlichen Nuten der Verschlußleiste eingreifenden Befestigungselemente, die sich auf den Stegen befinden, wird die Verschlußleiste durch Selbsthemmung in ihrer Endlage gehalten.

D. Ufert, Berlin EK 4165

Aktivitäten der Hersteller von Leistungshalbleitern für die 90er Jahre

Scharf, A.: Beyond 1990. PCIM Europe 1 (1989) 1, S. 8—9
Mergers and Technologies. PCIM Europe 1 (1989) 3, S. 128—129
Zieroth, G. E.: Europe's Power Houses are Getting in Shape for the Common Market. PCIM Europe 1 (1989) 5, S. 228

Der europäisohe Markt für Halbleiter-Leistungsbauelemente erwartet eine Steigerung von 780 Mio. $ im Jahre 1986 auf 1,17 Mrd. $ bis 1992. Der Wettbewerbsdruck ist dabei so stark, daß auch größere Unternehmen in Kooperationen eintreten.

Bereits im Jahre 1987 schlossen sich Thomson Semiconducteurs (Frankreich) und SGS Microelettronica (Italien) zu SGS-Thomson Microelectronics zusammen. Angestrebt wird ein Marktanteil von 40% mit dem unteren Leistungsbereich (1 bis 50 A) als Schwerpunkt. Bei „Smart Power" soll demnächst eine Schaltleistung von 1 kW erreicht werden.

Die Aktivitäten von SGS-Thomson bei Halbleiterbauelementen größerer Leistung wurden unlängst durch die Marconi Electronic Devices Ltd. (MEDL) erworben.

Aus ASEA (Schweden) und BBC (Schweiz) ging 1988 das Gemeinschaftsunternehmen ABB hervor, das mit insgesamt 180000 Beschäftigten einen weltweiten Umsatz von 15 Mrd. $ erzielt. Etwa 30% dieses Volumens umfassen die Übertragung und Umwandlung von Elektroenergie; ein Gebiet, auf dem die Halbleiter-Leistungsbauelemente einen wichtigen Platz einnehmen.

Im April 1988 wurde zwischen ABB und der USA-Firma IXYS ein Joint Venture zur gemeinsamen Herstellung und Vermarktung von IGBT gegründet. Seitens IXYS werden die Chips geliefert; die Konfektionierung der Module erfolgt im ABB-Werk Lampertheim. Hierbei kommt als neue Technologie das Direct Copper Bonding (DCB) zur Anwendung.

Eine ähnliche Arbeitsteilung gibt es zwischen Siemens und Semikron seit 1986: Die Chips fertigt Siemens, während Semicron seine langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Modul-Technologie einbringt. Die Module kommen unter dem Namen SIMOPAC bei Siemens und SEMITRANS bei Semicron auf den Markt. Neuentwicklungen sind hier u.a.; eine Drehstrom-Brücke mit 6 MOSFET 1000 V/17 A (SEMITRANS M) sowie IGBT-Module der BSM-Serie (Halbbrücke 50 A, Drehstrombrücke 15 A). Bei IGBT arbeiten auch AEG und Toshiba zusammen: die von Toshiba gelieferten Chips werden im AEG-Betrieb in Warstein-Belecke mit eigenen antiparallelen Dioden zu Modulen aufgebaut.

Ein großes Joint Venture auf dem Gebiet der Halbleiter-Leistungsbauelemente wurde zwischen AEG und Siemens Mitte 1989 vereinbart und nahm am 1. 1. 90 unter dem Namen EUPEC seine Tätigkeit auf. Das Kapital wurde von beiden Partnern zu je 50% eingebracht, Produktionsstätten befinden sich in München-Freimann mit etwa 300 und in Belecke mit etwa 400 Mitarbeitern. Der Sitz des Unternehmens ist Warstein-Belecke. Geplant sind GTO, Darlington- sowie IGBT-Module, hauptsächlich für die industrielle Antriebstechnik, für Stromversorgungen, Traktion, Schweißtechnik und HGÜ. Die Kooperationen mit Toshiba bzw. Semikron werden dabei fortgeführt.

Ein gemeinsames 5-Jahres-Programm mit dem Schwerpunkt „Smart Power" wurde zwischen International Rectifier und National Semiconductor vereinbart. Die Chipfertigung erfolgt bei IR, während Verkapselung und Test bei NS vorgenommen werden. Als erstes Produkt wird eine H-Brücke mit monolithischer Integration von Steuer- und Leistungsfunktionen auf einem Chip (TRB 200 bzw. LMD 18200) vorgestellt. Enthalten sind u.a. eine Stromüberwachung, ein Kurzschlußschutz sowie eine Temperaturüberwachung. Vorgesehene Einsatzbereiche sind Kleinantriebe und DC/DC-Wandler.

Ein weiteres Joint Venture wurde im Jahre 1986 durch Westinghouse, General Electric und Mitsubishi unter dem Namen POWEREX gegründet. Europäische Aktivitäten dieses neuen Unternehmens führten unter Beteiligung von Jeumont Schneider und CGE Alstholm (beide Frankreich) zu POWEREX EUROPE mit Sitz in Le Mans. Dort werden gegenwärtig u.a. 40000 Bipolarmodule/Jahr auf der Basis von Mitsubishi-Chips gefertigt.

Der Unternehmensbereich Halbleiter von General Electric, GE Solid State, wurde seinerseits Ende 1988 von Harris Semiconductor erworben. Der gemeinsame Jahresumsatz beläuft sich nunmehr auf 850 Mio. $. Harris liegt damit unter den USA-Herstellern von Halbleiterbauelementen auf Platz 6 und ist Marktführer bei „Smart Power".

Weitere Zusammenschlüsse sind zu erwarten; bis 1992 jedoch dürften diese Aktivitäten auf dem Markt für Halbleiter-Leistungsbauelemente im wesentlichen vollzogen sein.

F. Fischer, Dresden EK 4155

Mediadaten

der Fachzeitschrift ELEKTRIE

erhalten Sie auf Anforderung direkt von der Redaktion, Telefon: 2870344.

Die Redaktion

Arbeiten unter Spannung an der 1150-kV-Leitung Ekibastus — Tscheljabinsk

Litvinov, S.
Energija 1989, H. 6, S. 44, 45

Erstmals wurden Arbeiten an nicht ausgeschalteten Hochspannungsleitungen während des 2. Weltkrieges im Ural durchgeführt. In den siebziger Jahren erhielt diese Technologie in den RGW-Ländern mit der Einführung der 750-kV-Spannungsebene einen neuen Aufschwung. Arbeiten an in Betrieb befindlichen Hochspannungsleitungen vermeiden eine Schwächung des Netzes infolge von reparaturbedingten Ausschaltungen von Leitungen und stellen einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit dar, die mit zunehmender Leitungsspannung wächst. Die bisher guten Betriebserfahrungen mit der Arbeiten-unter-Spannung-Technologie waren die Grundlage für ihren erstmaligen Einsatz im Jahre 1988 an der 1150-kV-Leitung in der Sowjetunion, der höchstgespannten Wechselstromleitung in der Welt.

Der Schutzanzug für Arbeiten unter diesen Spannungen ist von energetischen und medizinischen Einrichtungen der Sowjetunion entwickelt worden. Der Spezialanzug, der die Funktion eines Faradayschen Käfigs erfüllt, besteht aus einem Gewebe mit eingearbeiteten Metallfäden.

Alle Anzugsteile von den Stiefeln bis zum Helmüberzug und dem engmaschigen, durchsichtigen Gesichtsschutz sind untereinander elektrisch verbunden. Im Jahre 1988 wurden 1000 und 1989 werden 3000 derartige Schutzanzüge hergestellt.

E. Broßmann, Berlin EK 4082

Thermovisionsmessungen von Hochspannungsleitungen mit Hubschraubern

Boldyrev, A. N.; Ivanenko, V. E.; Černov, V. F.
Električeskie stancii 1989, H. 9, S. 39—41

Der Zustand der Kontaktverbindungen von den Leiterseilen der Hochspannungsleitungen hat großen Einfluß auf ihre Betriebszuverlässigkeit. Die regelmäßige Kontrolle der Leiterseile auf Heißstellen von der Erde aus ist aus verschiedenen Gründen (Landwirtschaft, Gebirge usw.) schwer zu realisieren. Im Energiesystem Donbass (UdSSR) werden die 110-, 220-, 330-, 500- und 750-kV-Leitungen seit 1987 mit Hubschraubern hinsichtlich defekter Kontaktverbindungen kontrolliert. Hierbei kommen die schwedischen Infrarotkameras AGA-782 und AGA-880 zur Anwendung. Der Hubschrauber fliegt bei den Thermosvisionsmessungen die Leitungen mit einer Geschwindigkeit von 80—100 km/h ab.

Die Leitungen können bei beliebiger Belastung kontrolliert werden. Eine Belastung über 50 % ist jedoch wünschenswert. Vom September 1987 bis Juni 1988 sind 8800 km Leitung im Energiesystem Donbass mit Hubschraubern auf Heißstellen überprüft worden. Damit konnten 52 Heißstellen ermittelt werden. Es werden drei Heißstellengruppen unterschieden:

1. Eine Überhitzung von 10—30 °C zur Leitertemperatur bei über 50 % Belastung erfordert eine Revision im Laufe der nächsten zwei Monate.
2. Eine Überhitzung über 30 °C bei über 50 % Leiterbelastung macht eine Reparatur innerhalb eines Monats erforderlich.
3. Eine Kontakterhitzung auf 80 °C und mehr bei beliebiger Leitungsbelastung wird als Störung betrachtet und ist je nach konkretem Zustand in den nächsten zehn Tagen zu beheben.

Die bisherigen Betriebserfahrungen verweisen auf Kontrollzyklen von 3 bis 5 Jahren in Abhängigkeit vom Betriebsregime (Belastung) der Leitung und der an sie gestellten Zuverlässigkeitsanforderungen. Die Kosten für die Kontrolle eines Kilometers Leitung betragen etwa 10 Rubel.

E. Broßmann, Berlin EK 4084

Wissenschaftlicher Fortschritt in der sowjetischen Elektroenergetik

Električeskie stancii 1989, H. 9, S. 4—13 (ohne Autoren)

Die installierte Kraftwerksleistung der Sowjetunion betrug am 1. 1. 1989 330000 MW, und es wurden 1988 1705 Mrd. kWh Elektroenergie erzeugt (USA — 730000 MW, 2700 Mrd. kWh). 75 % der Elektroenergie werden in Wärmekraftwerken erzeugt, davon stammen 25 % von Erdgas und 25,5 % von Erdöl. Die Kernkraftwerke sind mit 11 % an der Elektroenergieerzeugung und die Wasserkraftwerke mit 13,5 % beteiligt.

Der erste 800-MW-Kohleblock des 1. Beresower Wärmekraftwerkes ging in Betrieb, und das 2. Surgutsker Wärmekraftwerk mit acht 800-MW-Erdgasblöcken erreicht 1990 seinen Endausbauzustand. Der mittlere spezifische Brennstoffverbrauch betrug 325,3 g SKE (Steinkohleeinheiten) je kWh, was unter dem der USA, Großbritanniens, Frankreichs und der BRD liegt. Die Kessel des 5. Heizkraftwerkes Nowosibirsk wurden auf Feuerung mit der Kohle-Wasser-Suspension von der Kohlerohrleitung Belowo — Nowosibirsk umgerüstet und betrieben. Probleme bereitet die Verbrennung der aschehaltigen (mehr als 50 % Asche) Ekibastuser Kohle und hochfeuchten (mehr als 50 % Feuchtigkeit) Kansk-Atschinsker-Kohle. Im Pumpspeicherwerk Sagorsk sind zwei 200-MW-Pump-Turbinensätze in Betrieb.

Der erste Asynchron-Synchron-Generator der Welt mit einer Leistung von 200 MW im Burschtyner Wärmekraftwerk ging in Betrieb. Seine Serienproduktion ist in Vorbereitung. Schwefeldioxid-Rauchgas-Reinigungsanlagen sind in den Wärmekraftwerken Dorogobush und Gubkin im Probebetrieb. An 92 Dampferzeugern werden die Filteranlagen rekonstruiert und an etwa 100 Maßnahmen zur Unterdrückung der Stickoxidbildung realisiert.

Die effektive Verfügbarkeit der installierten Leistung betrug 1988 76,5 % und erhöhte sich in den letzten drei Jahren um 5,8 %, was einer Mobilisierung von 15000 MW Kraftwerksleistung entspricht. Die Lage in der sowjetischen Energetik ist angespannt. Die mittlere Verfügbarkeit der installierten Leistung beträgt 5300 h (USA — 4100 h) und die Reparaturreserve 7 % (USA — 33 %). Die Druckwasserreaktoren werden in der Sowjetunion allseitig weiterentwickelt, wobei offensichtlich sogar die Entwicklung von Kernheizwerken und Kernheizkraftwerken eingestellt wird. Der Bau moderner Sonnenkraftwerke ist im nächsten Fünfjahrplan 1990—95 vorgesehen, genauso wie der Bau des Gezeitenkraftwerkes auf der Halbinsel Kola mit einer Leistung von 40 MW. 1992 soll die Inbetriebnahme des ersten von vier 50-MW-Blöcken des Mutnowsker Geothermalkraftwerkes erfolgen.

E. Broßmann, Berlin EK 4106

Mülldeponien — große Biogasanlagen

Gorbatjuk, O. B. u. a.
Priroda 1989, H. 9, S. 71—79

Mülldeponien sondern infolge der dort vorsichgehenden Gärungs- und Faulprozesse unter Luftabschluß Methan an die Atmosphäre ab. Methan ist Hauptbestandteil des Biogases und ist brennbar sowie bei einer bestimmten Konzentration sogar explosiv (Grubengas). Weltweit ist der Methangasausstoß der Haushaltmülldeponien mit den riesigen Methanquellen Weltmeer oder Erdgasindustrie vergleichbar. Zusammen mit anderen Spurengasen, wie N_2O, Freone, Kohlenmonoxid u. a. trägt Methan zu einem ähnlichen Wachstum des Treibhauseffektes wie das Kohlendioxid bei.

Eine Alternative zu den geordneten Mülldeponien stellt die Müllverbrennung dar. Die Rauchgase der sehr kostspieligen Müllverbrennungsanlagen enthalten jedoch Schwermetalle, schädliche Gase wie das hochgiftige Kohlenmonoxid, Salzsäure, ätzende Fluorwasserstoffe und sogar die krebserregenden Dioxine. Aus diesem Grunde wurden beispielsweise am Anfang der 80er Jahre fast alle Müllverbrennungsanlagen New Yorks geschlossen. Einen gewissen Ausweg stellt die Verbrennung des Mülls unter hohen Temperaturen dar, wo der Schadstoffausstoß merklich geringer wird. In den Mülldeponien laufen in der oberen Schicht mit einer Breite von 1 bis 1,5 m Zersetzungsprozesse unter Luftzufuhr ab. Das Hauptvolumen der Mülldeponien wird jedoch von der anaeroben Zone eingenommen, in der unter Luftabschluß und einer mittleren Temperatur von 30 bis 40 °C mikrobiologische Prozesse einhergehen, infolge derer sich das zu einem Großteil aus Methan bestehende Biogas bildet. Die Biogasproduktion einer Mülldeponie ist tausendmal größer als die des heute größten Biogasreaktors. Die aktive Phase einer Mülldeponie währt ungefähr 15 bis 20 Jahre.

Programme zur Nutzung des Biogases von Mülldeponien laufen in den USA, in der UdSSR, in westeuropäischen und südamerikanischen Staaten. In der USA beträgt heute die Biogas-Tagesproduktion von den dafür eingerichteten 70 Mülldeponien 1,7 Millionen m³. Dazu wird aus den Bohrungen in der Deponie das Biogas mittels Kompressoren in Gasbehälter gepreßt. Dieses dort gespeicherte Biogas wird zur Wärme- und Elektroenergieerzeugung verwendet. Nach Durchlaufen einiger Filterstufen eignet sich das Deponie-Biogas sogar als PKW-Kraftstoff. Die amerikanischen Spezialisten erwarten in den nächsten fünf Jahren eine Ausbeute aus den Deponien von 5,7 Milliarden m³ Methan. Diese Methanmenge weist den Heizwert von 5,7 Millionen Tonnen Steinkohle auf.

E. Broßmann, Berlin EK 4108

Sichere Kernreaktoren

Energija 1989, H. 8, S. 55 (ohne Autoren)
Zur Vermeidung des Schmelzens von Kernbrennstoff im Reaktor muß dieser ständig intensiv gekühlt werden. Die Wärme entsteht infolge der Kernspaltreaktionen des Kernbrennstoffes. In den meisten Reaktoren ist heute Wasser das Kühlmittel. Die Reaktoren sind äußerst empfindlich hinsichtlich des Kühlmittelverlustes, was im Endeffekt zu den Havarien in den Kernkraftwerken Tschernobyl und Three Mile Island führte. Diese Havarien werden zwar mit einem tief gestaffelten Schutzsystem weitgehend ausgeschlossen, eine hundertprozentige Sicherheit kann jedoch damit nicht erreicht werden.
Das US-Energieministerium begann mit der Entwicklung eines sicheren Reaktors nach einer grundsätzlich neuen, die Ursache der Havarien beseitigenden Konzeption. Der Reaktor wird voraussichtlich 3,6 Mrd. Dollar kosten. Anstatt eines Reaktors großer Leistung kommen vier kleine Reaktormodule zur Anwendung. Jeder Reaktormodul enthält eine solch geringe Menge Kernbrennstoff, der einerseits die Kettenreaktion ohne überschüssige Reaktivität gewährleistet und andererseits sich unter keinerlei Umständen bis zu seiner Schmelztemperatur erhitzen kann. Der Kernbrennstoff dieser Reaktormodule ist in kleinen hitzebeständigen (bis 1815 °C) Keramikhüllen mit einer Heliumgasfüllung untergebracht. Die Brennstoffkugeln oder -kegel liegen haufenförmig im Reaktor vor. Eine Erhitzung des Kernbrennstoffes über 1650 °C ist bei dieser Konstruktion ausgeschlossen. Weiterhin wird dieses aus vier einzelnen Bausteinen bestehende Kernkraftwerk unter die Erde verlagert.
Diese Reaktoren weisen eine natürliche Sicherheit auf und erfordern keine kostenaufwendige Schutzsysteme. Die Leistung derartiger Kernkraftwerke kann bausteinartig bis zur gewünschten Größe mit der entsprechenden Menge Reaktormodule vergrößert werden, die serienmäßig in Produktion gehen.
Kernkraftgegner verweisen jedoch darauf, daß von absolut sicheren Kernreaktoren erst die Rede sein kann, wenn keine radioaktiven Abfälle mehr anfallen, also auch dieser Teil des Kernbrennstoff-Kreislaufes risikofrei ist.

E. Broßmann, Berlin EK 4107

Sowjetische Fachzeitschriften — Übersicht über eine wichtige Fachzeitschriften[1]

ELEKTRIČESTVO
Monatszeitschrift für Theorie und Praxis. Organ der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, das Komitees für Wissenschaft und Technik sowie der Zentralverwaltung der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Energetiker und Elektrotechniker.
Die Zeitschrift wird seit Juli 1880 herausgegeben. Anschrift s.[2])

ELEKTROTECHNIKA
Monatszeitschrift des Ministeriums für elektrotechnische Industrie und Gerätebau der UdSSR und der Zentralverwaltung der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Energetiker und Elektrotechniker.
Die Zeitschrift wird seit Januar 1930 herausgegeben. Anschrift s.[3])

PROMYŠLENAJA ENERGETIKA
Monatszeitschrift des Ministeriums für Energetik und Elektrifizierung der UdSSR und der Zentralverwaltung der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Energetiker und Elektrotechniker. Die Zeitschrift wird seit August 1944 herausgegeben. Anschrift s.[4])

ELEKTRIČESKIE STANCII
Monatszeitschrift des Ministeriums für Energetik und Elektrifizierung der UdSSR und der Zentralverwaltung der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Energetiker und Elektrotechniker.
Die Zeitschrift wird seit Januar 1930 herausgegeben. Anschrift s.[5])

ENERGO-MAŠINOSTROENIE
Monatszeitschrift des Ministeriums für Schwermaschinenbau und der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Maschinenbauer.
Die Zeitschrift wird seit Oktober 1935 herausgegeben. Anschrift s.[6])

TEPLOENERGETIKA
Monatszeitschrift der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, des Komitees für Wissenschaft und Technik sowie der Zentralverwaltung der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Energetiker und Elektrotechniker.
Die Zeitschrift wird seit 1956 herausgegeben Anschrift s.[7])

ENERGETIK
Monatszeitschrift des Ministeriums für Energetik und Elektrifizierung der UdSSR und des Zentralkomitees der Gewerkschaften der Kraftwerker und Werktätigen der Elektrotechnischen Industrie. Die Zeitschrift wird seit Juni 1928 herausgegeben. Anschrift s.[8])

SVETOTECHNIKA
Monatszeitschrift des Ministeriums für elektrotechnische Industrie und Gerätebau der UdSSR und der Zentralverwaltung der wissenschaftlich-technischen Gesellschaft der Energetiker und Elektrotechniker.
Die Zeitschrift wird seit Januar 1932 herausgegeben. Anschrift s.[9])

Die Redaktion EK 4183

[1]) Interessenten können die Zeitschriften in der Bibliothek des Hauses der sowjetischen Wissenschaft und Kultur, Friedrichstraße 176–179, Berlin, 1080, einsehen.
[2]) 103012 Moskau, B. Čerkasskij per. 2/10
[3]) 123242 Moskau, Zoologičeskaja ul. 11, komn. 212
[4]) 103012 Moskau, B. Čerkasskij per. 2/10
[5]) 103012 Moskau, B. Čerkasskij per. 2/10
[6]) 103906 Moskau, Nižnij Kislovskij per. 5
[7]) 111250 Moskau, Krasnokassarmennaja ul. 14
[8]) 109280 Moskau, ul. Arfosavodskaja 14/23
[9]) 129301 Moskau, prospekt Mira 106

BÜCHER

Technik-Wörterbuch „Lichttechnik"

Hrsg.: *Ralf Zimmermann*, Berlin: Verlag Technik 1989. 428 S., 45,00 M.

Mit dem neuen Technik-Wörterbuch „Lichttechnik", viersprachig Englisch-Deutsch-Französisch-Russisch, setzt der Verlag ein editorisches Anliegen fort, das 1977 mit der Herausgabe eines Wörterbuches für das Fachgebiet der Lichttechnik begonnen wurde. Daß die damalige Ausgabe nach etwa einem Jahr vergriffen war, zeigt das Bedürfnis nach einem derartigen Fachwörterbuch. Dieses Bedürfnis ist gegenwärtig mit Sicherheit nicht geringer. Die mit der neuen Ausgabe erreichte wesentlich erhöhte fachliche Qualität und Kompetenz läßt eine positive Aufnahme auf dem Büchermarkt erwarten.
Bei der neuen Ausgabe des Wörterbuches wurde ein Umfang von etwa 11000 Begriffen erfaßt (gegenüber etwa 5000 Begriffen der Ausgabe von 1977). Das viersprachige Nachschlagewerk bezieht sich auf Begriffe der Grundlagen der Lichttechnik, der Lichterzeugungstechnik einschl. Lichtquellen-Arten, -Bauteile sowie -Herstellungstechnik, der Beleuchtungstechnik einschl. Leuchten-Arten sowie -Teile, der Licht-, Strahlungs- sowie Farbmeßtechnik und der Strahlungsempfänger. Die aktinische Strahlung wurde einbezogen, außerdem ein Minimum an Begriffen unmittelbar tangierender Gebiete, z. B. der Elektrotechnik.
Ein stichprobenartiger Test des Rezensenten ließ keine Begriffe vermissen, die z. B. in den vergangenen 10 Jahren mit neuen Lichtquellenarten und Beleuchtungsmethoden in den Vordergrund getreten sind. Bei einer Durchsicht der Begriffe fiel positiv auf, daß in hohem Maße zusammengesetzte Fachtermini berücksichtigt wurden, die über andere Wörterbücher nach ihren Komponenten nicht eindeutig bestimmbar gewesen wären. Hier ist offenbar kontinuierlich im Laufe der Jahre eine Vielzahl von Fachveröffentlichungen zur Gewinnung und Fixierung der Begriffsäquivalente in den verschiedenen Sprachen analysiert und für den Aufbau des Wörterbuches herangezogen worden. Auf diese Weise wurde praktische Übersetzungserfahrung von Mitarbeitern des Autorenkollektivs unmittelbar verwertet.
Es wurde damit ein Wörterbuch erarbeitet, das lichttechnischen Fachleuten und Übersetzern unbedingt empfohlen werden kann. Ein Vergleich der Begriffe des Technik-Wörterbuches „Lichttechnik" zeigt nicht in allen Fällen Übereinstimmung mit dem Vokabular der 950 Begriffe des Internationalen Wörterbuches der Lichttechnik, CIE-Publikation Nr. 17.4, Genf 1987 (zugleich Internationales Wörterbuch der Elektrotechnik, Kapitel 845 Lichttechnik, IEC-Publikation 50 (845)). Bei einer Wertung der Differenzen muß man den Charakter des CIE-IEC-Wörterbuches als definiertes und erläutertes Vokabular in vier Sprachen in Rechnung setzen. Ein Teil der Differenzen, der sich nicht durch einfache Übernahme aus dem CIE-IEC-Voka-

bular in das Technik-Wörterbuch elimieren läßt, deutet auf Unterschiede im Sprachgebrauch hin, die nur im Prozeß einer engeren internationalen terminologischen Zusammenarbeit überwunden werden können. In diesem Prozeß der begrifflichen Abstimmung ist auch das vorliegende Technik-Wörterbuch „Lichttechnik" als gewichtiger Beitrag zu betrachten.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß das neue Technik-Wörterbuch „Lichttechnik" gegenüber seinem Vorgänger erheblich an Qualität, nicht zuletzt durch die wesentlich erweiterte Quantität der Begriffe, an Aussagekraft, an Zuverlässigkeit sowie auch an Aktualität gewonnen hat. Die zunehmende Internationalisierung des für jeden lichttechnischen Fachmann wachsenden Informationsangebotes wird dem Fachwörterbuch einen geachteten Platz bei in- und ausländischen Interessenten sichern.

J. Wolff, Berlin EK 4151

Oszilloskope

Von *G. Meyer*. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag 1989. 316 Seiten, 375 Bilder, 49,00 DM

Seit der ersten Abbildung elektrischer Signale durch *Ferdinand Braun* mittels der nach ihm benannten Elektronenstrahlröhre im Jahre 1897 wurden Oszilloskope zum wichtigsten elektronischen Meßgerät des Forschers, Entwicklers und Praktikers auf dem Gebiet der Elektrotechnik/Elektronik. Eine sinnvolle Anwendung des Oszilloskops erfordert entsprechende Grundkenntnisse über Aufbau, Wirkungsweise und Einsatzgebiete. Aufgrund der raschen Fortschritte der Mikroelektronik und insbesondere der Digitaltechnik kam es in den letzten Jahren auch zu einer bemerkenswerten Weiterentwicklung der Oszilloskope, hinsichtlich Wirkprinzipien und Leistungsparameter, so daß frühere Publikationen zur Oszillografenmeßtechnik dem modernen Stand z.T. nicht mehr gerecht werden. Daher ist es zu begrüßen, daß sich der Autor die Aufgabe stellt, den Studierenden und Praktiker gleichermaßen mit den Neuerungen bei Oszilloskopen vertraut zu machen und wertvolle Anregungen bei der Lösung meßtechnischer Aufgaben zu geben. Dieses Vorhaben ist mit dem vorliegenden Buch in vollem Umfang gelungen. Im einführenden Kapitel 1 werden zunächst die einfachsten Bedienungsfunktionen vorgestellt, so daß der interessierte Leser in leicht verständlicher Form einen ersten Überblick erhält. Dieser wird dann im Kapitel 2 vervollständigt, in dem der prinzipielle Aufbau des Oszilloskops in anschaulicher Weise dargestellt wird. Ausgehend vom Blockschaltbild wird dabei detailliert auf die Komponenten Elektronenstrahlröhre, Y-Kanal und horizontale Strahlablenkung eingegangen. Möglichkeiten und Vorteile des Mehrkanalbetriebes werden an konkreten Meßbeispielen im Kapitel 3 aufgezeigt. Aufbauend auf diesem Grundwissen behandeln die folgenden Kapitel spezielle meßtechnische Aspekte. So befaßt sich Kapitel 4 mit der nicht zu unterschätzenden Problematik der Meßfehler, und im Kapitel 5 werden Möglichkeiten zur Verbesserung des Meß- und Bedienkomforts abgehandelt.

Dem modernen Entwicklungstrend Rechnung tragend, werden im Kapitel 6 Speicheroszilloskope in angemessenem Umfang vorgestellt. Dabei erscheinen die Ausführungen zu den digitalen Speicheroszilloskopen besonders wertvoll, da sie eine einfache Einarbeitung in diese innovative Technik ermöglichen. Aspekte der Messung sehr schnell veränderlicher Signale bis in den GHz-Bereich und die dabei zu beachtenden meßtechnischen Grenzen behandelt Kapitel 7, wobei die Darlegungen zum Sampling-Oszilloskop für eine richtige Nutzung dieser Spezialtechnik ebenfalls sehr hilfreich erscheinen. Ausführungsformen von Oszilloskopen werden im Kapitel 8 vorgestellt, wobei auch Oszilloskope mit Rechnerschnittstellen sowie Personalcomputer als Oszilloskop Berücksichtigung finden. Eine kurze Übersicht über ergänzendes Zubehör ist im Kapitel 9 angegeben. Das abschließende Kapitel 10 enthält wertvolle Hinweise über praktische Anwendungen des Oszilloskops, wobei auf Besonderheiten von Y-Messungen bei Zeitdarstellungen, Zeitmessungen, Phasenmessungen bei Zeitdarstellung, Laufzeitmessungen und Messungen in X-Y-Darstellung speziell eingegangen wird.

Das vorliegende Buch zeichnet sich durch klare textliche Formulierungen sowie überzeugende bildliche Darstellungen aus. Zum Verständnis ist nur ein Mindestmaß an speziellen Vorkenntnissen erforderlich. Daher dürfte es auch dem mit der elektronischen Meßtechnik wenig vertrauten Leser gelingen, sich mit Hilfe des vorliegenden Werkes in kürzester Zeit die sachgemäße Bedienung moderner Oszilloskope anzueignen. Das Buch ist für Studenten ein wertvolles Lernmittel und dürfte auch dem erfahrenen Praktiker noch zahlreiche interessante Anregungen liefern.

E. Lemke, Dresden EK 4154

Rauschen als Information

Von *W. Denda*. Berlin: Verlag Technik 1988. 188 Seiten, 118 Bilder, 16,00 M

Die Broschüre befaßt sich schwerpunktmäßig mit dem niederfrequenten Rauschen aktiver elektronischer Halbleiterbauelemente. Nach einer kurzen Einleitung, in der die Rauscharten nach ihrer Erscheinungsform systematisiert werden, erfolgt im Kapitel 2 die Beschreibung von Rauschsignalen. Dabei wird zunächst auf die statistische, zeitliche und spektrale Darstellung zufälliger Prozesse eingegangen. Anschließend werden die charakteristischen Merkmale der Rauscharten aufgezeigt. Kapitel 3 befaßt sich mit der Erzeugung von synthetischem Rauschen, und es wird das Konzept eines universellen Rauschgenerators vorgestellt. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Broschüre ist das Kapitel 4, das sich mit der Rauschmeßtechnik befaßt. Das Rauschen als Störgröße ist Gegenstand von Kapitel 5, in dem u.a. Gütekriterien für elektronische Bauelemente hergeleitet werden. Das Rauschen als Testsignal wird im Kap. 6 abgehandelt. Ausgehend von den Möglichkeiten der Nutzung von Rauschsignalen zur Beurteilung von Systemübertragungseigenschaften werden u.a. praktische Beispiele zur Ermittlung der effektiven Bandbreite eines Filters sowie der akustischen Eigenschaften von Räumen aufgezeigt. Im abschließenden Kapitel 7 wird die für technische Systeme wichtige Problematik der Rauschanalyse vorgestellt. Dabei wird im Einzelnen auf die Auswertung des Zeitverlaufs, der Amplitudenverteilung, des Leistungsspektrums und der Autokorrelationsfunktion eingegangen. Außerdem erfolgen Betrachtungen zur komplexen und technischen Analyse.

Trotz der Kompliziertheit der Thematik ist es dem Verfasser gelungen, den Stoff in gut verständlicher Form darzulegen. Die Broschüre zeichnet sich durch klare textliche Formulierungen sowie übersichtliche bildliche Darstellungen, die wesentlich zum Verständnis der behandelten Problematik beitragen, aus. Die mathematischen Zusammenhänge wurden auf das Wesentliche zurückgeführt und sind in der Praxis direkt nutzbar. Die Broschüre wendet sich in erster Linie an Spezialisten, die sich mit der Herstellung und Anwendung von Halbleiterbauelementen befassen. Darüber hinaus enthält die Schrift aber auch wertvolle Anregungen für den praktisch tätigen Meßtechniker auf dem modernen Gebiet der technischen Diagnostik, der auf die Informationsbewertung verrauschter Signale angewiesen ist.

E. Lemke, Dresden EK 4153

Nonlinear Control Systems

Von *A. Isidori*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio, Hongkong: Springer-Verlag 1989. 2. Auflage, 479 Seiten, 43 Abb., 88,00 DM

Das Buch verfolgt das Ziel, eine in sich geschlossene Darstellung der Theorie nichtlinearer Regelsysteme zu geben. Besonders betont wird eine differential-geometrische Darstellung. Das Buch ist für Wissenschaftler und theoretisch hochqualifizierte Ingenieure konzipiert.

In 7 Hauptabschnitten und zwei Anhängen werden behandelt

- Lokale Dekomposition von Regelsystemen
- Globale Dekomposition von Regelsystemen
- Eingangs-Ausgangs-Diagramme und Realisierungstheorie
- Elementare Theorie der nichtlinearen Rückführung für Ein-Eingangs- und Ein-Ausgangs-Systeme
- Elementare Theorie der nichtlinearen Rückführung für Multi-Eingangs- und Multi-Ausgangs-Systeme
- Geometrische Theorie der Zustandsrückführungen, Werkzeuge und Anwendungen
- Theoretische Grundsätze der Differentialgeometrie

Das von *A. Isidori* vorgelegte Buch ist aufgrund seines hohen theoretischen Niveaus und der Geschlossenheit der Darstellung zweifellos dem internationalen Spitzenniveau zuzurechnen. Es stellt jedoch sehr hohe Ansprüche an die mathematische Vorbildung und das Abstraktionsvermögen des Lesers.

R. Schönfeld, Dresden EK 4118

Documentation

Baggenstos, H.; Leuchtmann, P.

Numerically Computing Electromagnetic Fields by Means of MMP Programmes

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 165–169, 9 Figs., 8 Equations, 20 Refs.

The MMP (multiple multipole) programmes, developed in the ETH of Zürich, base upon a generalized multipole techniques (GMT). In this contribution MMP programmes are described and illustrated by the following examples of numerical field computation:
– 2 D stray field of a railway rail,
– 2 D stray field of a pulse,
– 2 D stray field within a long slot,
– pseudo-3 D stray field within a rectangular waveguide,
– 3 D stray field at an iglu,
– 3 D stray field at a human body.

Müller, M.

Computing the Electric Flow Field Adapted to Projecting Anode Fields of the Cathodic Protection against Corrosion in Interconnected Networks

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 169–171, 3 Figs., 6 Equations, 8 Refs.

For projecting the cathodic protection against corrosion in interconnected networks the computation of the flows is necessary, which are emerging into the irregular network. In this contribution the computation of the electric flow field is reduced to this aim to data needed. A mathematical ansatz of soluting this task is illustrated and it has been realized programme-technically.

Junghans, H.

Using Classic Methods of the Field Theory to a First Evaluation of Field Distorting Influencing Factors of the Electric Field of Overhead Power Lines

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 171–174, 4 Figs., 11 Equations, 10 Refs.

To soluting practical tasks making field-theoretical analysises within shortest periods is often necessary. In this contribution by means of two classic methods, method of the mirror images and method of the conformal mappings, it is showed, how with overlookable mathematical ansatzes a first theoretical description of the corresponding problems may be made. The presented ansatzes have been realized programe-technically. Results of accomplished computations for studying the field distorting influence of conductable boundary surfaces on the quasi-stationary electric field of overhead power lines are listed by examples in this paper.

Bochanky, L.

Decision Problems within the Network Techniques

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 174–177, 2 Figs., 1 Table, 1 Equation, 14 Refs.

The decision situation within the network techniques is characterized by limited investment capacity, existence of several partial aims and uncertainties. To this a decision method is represented, adapted to a comprehensive use. The problems of finding compromisse between competitive partial aims and the realization of decision proposals, oriented to compromises, are discussed in more detail by examples.

Herrmann, H.-J.; Stanimirov, M.

Digital Protecting Techniques within the Electric Energy System – Programme System of Testing Protecting Algorithms

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 177–182, 9 Figs., 4 Equations, 12 Refs.

As a base of the algorithm selection of digital protecting equipments the necessity of simulating computations is proved. This contribution is concerned to the substantial components of such a simulating programme and illustrates the operating mode by selected examples.

Ebel, D.

Modern Methods of Maintaining and Calibrating Electric Energy Meters

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 182–185, 2 Figs., 1 Table, 8 Refs.

The experiences, made in maintaining and testing electric energy meters in the Zählerreparaturwerk of Oranienburg were the base of developing and manufacturing in series testing and calibrating equipments. Using meters of a higher precision and of electronic energy meters makes higher requirements to the techniques and technology of testing meters, the state and trends of which are discussed in this contribution.

Schult, H.

Numeric Current Transformer Model with Quick Convergence

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 185–187, 3 Figs., 28 Equations, 1 Ref.

Selecting and loading current transformers of protecting equipments has to be made by considering the transient transmission behaviour of the transformer. A numeric current transformer model of simulating is represented, which considers the magnetization characteristic curve including saturation area and guarantees the quick and safe convergence of the iteration.

Brüsel, E.; Musolff, D.

Studies of the Time Behaviour of Gases in the Buchholz's Relay

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 187–189, 2 Figs., 2 Tables, 3 Refs.

By means of the results, offered, evaluations, formerly made, were confirmed, that the constructive designing of the Buchholz's relay does not longer correspond to the reached efficiency of gas-chromatographic analysises. Because the new developed Buchholz's relay (TÜS, type 0923-0,65 of the Elektromotoren Barleben) does not consider the requirements of the gas-analytical disturbing diagnosis, furthermore it has to be sought for constructive solutions.

Höhne, E.; v. Fournier, U.; Pfitzner, C.

Inductance and Current Distribution of A.C. Connections of High Current Intensity

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, pp. 189–192, 7 Figs., 1 Table, 9 Equations, 4 Refs.

In a.c. connections of high current intensity in the individual conductors different currents and also different current densities are occuring. In 50 Hz connections these differences are caused mainly by the proximity effect. A computing method of determining the current distribution, the inductance, and the voltage drop of closely packed conductor rail connections with special consideration of short lengthes is represented.

Документация

Баггенстос, Х.; Лойхтманн, П.

Численный расчет электромагнитных полей при помощи программ ММП

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 165–169, 9 рис., 8 уравн., 20 лит.

Программы ММП (многократный многополюсник), разработанные на электротехническом ВУЗ Цюриха, основываются на обобщенной многополюсной технике (GMT). В работе дается описание программ ММП и представляется численный расчет поля на следующих примерах:
— двумерное поле рассеяния железнодорожного рельса
— двумерное поле рассеяния пульса
— двумерное поле рассеяния в длинной щели
— псевдо-трехмерное поле рассеяния в прямоугольном волноводе
— трехмерное поле рассеяния на иглу
— трехмерное поле рассеяния на человеческом теле.

Мюллер, М.

Расчет электрического конуса потенциалов для проектирования анодных полей для катодной антикоррозийной защиты в многоконтурных сетях

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 169–171, 3 рис., 6 уравн., 8 лит.

Для проектирования катодной антикоррозийной защиты в многоконтурных сетях требуется расчета поступающих в нерегулярную сеть токов. В работе, для данной цели, расчет электрического конуса потенциалов ограничивается требуемыми данными. Поясняется математический подход к решению данной задачи, представляется программно-техническая реализация его.

Юнгханс, Х.

Применение классических методов теории поля для первой оценки искажающих поле влияющих факторов электрического поля сильноточных воздушных линий

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 171–174, 4 рис., 11 уравн., 10 лит.

Для решения практических заданий часто требуется провести в кратчайшие сроки теоретические анализы поля. В работе на примере двух классических методов — метода зеркальных изображений и метода конформных отображений — показывается, каким путем может осуществлятся первое теоретическое описание данной проблематики с помощью наглядных математических подходов к решению. Представленные подходы к решению программно-технически реализованы. В работе приводятся в качестве примера результаты проведенных расчетов по изучению искажающего поле влияния проводящих ограничительных поверхностей на квазистационарное поле сильноточных воздушных линий.

Боханки, Л.

Проблематика разрешения в сетевой технике

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 174–177, 2 рис., 1 табл., 1 уравн., 14 лит.

Ситуация разрешения в сетевой технике характеризована ограниченной емкостью капиталовложений, существованием нескольких частных целей и неопределенностью. По данному вопросу представляется методика разрешения, пригодная для широкого применения. Более подробно рассматриваются на примерах проблемы нахождения компромисса между конкурирующими частными целями и вопросы внедрения ориентированных на компромисс предложений по решению.

Херрманн, Х.–Й.; Станимиров, М.

Цифровая защитная техника в электроэнергетической системе — система программ для тестирования алгоритмов защиты

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 177–182, 9 рис., 4 уравн., 12 лит.

Обосновывается необходимость проведения моделированных расчетов как основа для выбора алгоритмов для цифровых зашитных устройств. В работе рассматриваются основные компоненты такой программы моделирования, на выбранных примерах продемонстрируется принцип действия ее.

Эбель, Д.

Современные методы ремонта и калибровки электроэнергетических счетчиков

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 182–185, 2 рис., 1 табл., 8 лит.

Накопленный при ремонте и проверке электроэнергетических счетчиков опыт ремонтного завода счетчиков г. Ораниенбург служил основой для разработки и серийного выпуска испытательного и калибровочного оборудования. Применение счетчиков повышенной точности измерения и электронных счетчиков, электроэнергий предъявляет все возрастающие требования к аппаратуре и технологии испытания счетчиков, сегодняшнее состояние и тенденции которых рассматриваются в работе.

Шульт, Х.

Численная модель преобразователя тока с ускоренной сходимостью

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 185–187, 3 рис., 28 уравн., 1 лит.

Выбор и нагрузка сопротивлением преобразователей тока для защитных устройств должны осуществлятся с учетом переходной характеристики передачи преобразователей. Представляется численная модель преобразователя тока для моделирования, охватывающая характеристику намагничивания включая диапазон насыщения, обеспечивающая быструю и надежную сходимость итерации.

Брэзель, Э.; Музольфф, Д.

Исследования по временной характеристике газов в защитном реле Бухгольца

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 187–189, 2 рис., 2 табл., 3 лит.

Представленные результаты исследований подтверждают более ранние заключения о том, что конструктивное оформление защитного реле Бухгольца уже не соответствует достигнутой производительности газо-хроматографических анализов.
В связи с тем, что и вновь разработанное защитное реле Бухгольца (TÜS, типа 0923-0,65 завода электромоторен Барлебен) не учитывает условия газоаналитической диагностики неисправностей, требуется продолжения поиска конструктивных решений.

Хене, Э.; ф. Фурнъе, У.; Пфитцнер, К.

Индуктивность и распределение токов в соединениях переменного тока большой силы тока

ELEKTRIE, Берлин 44 (1990) 5, стр. 189–192, 7 рис., 1 табл., 9 уравн., 4 лит.

В соединениях переменного тока большой силы тока в отдельных проводниках имеют место токи разной величины, а также разные плотности тока. В соединениях на частоте 50 Гц эти различия обусловлены в первую очередь эффектом соотношения близости. Представляется Метод расчета по определению распределения токов, индуктивности и падения напряжения плотно установленных шинопроводных соединений с особым учетом коротких длин.

Dokumentation

Baggenstos, H.; Leuchtmann, P.

Numerische Berechnung elektromagnetischer Felder mittels MMP-Programmen

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 165–169, 9 Bilder, 8 Gln., 20 Lit.

Die an der EPH-Zürich entwickelten MMP-(Mehrfach-Multipol) – Programme basieren auf einer verallgemeinerten Multipoltechnik (GMT). Im Beitrag werden MMP-Programme beschrieben und an folgenden Beispielen numerischer Feldberechnung dargestellt:
- 2D-Streufeld einer Eisenbahnschiene
- 2D-Streufeld eines Pulses
- 2D-Streufeld im langen Schlitz
- Pseudo-3D-Streufeld im Rechteckhohlleiter
- 3D-Streufeld an einem Iglu
- 3D-Streufeld am menschlichen Körper.

Müller, M.

Berechnung des elektrischen Strömungsfeldes zur Projektierung von Anodenfeldern für den katodischen Korrosionsschutz in vermaschten Netzen

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 169–171, 3 Bilder, 6 Gleichungen, 8 Lit.

Zur Projektierung des katodischen Korrosionsschutzes in vermaschten Netzen ist die Berechnung der in das unregelmäßige Netz eintretenden Ströme nötig. In dem Beitrag wird die Berechnung des elektrischen Strömungsfeldes für diesen Zweck auf die benötigten Daten reduziert. Ein mathematischer Ansatz zur Lösung dieser Aufgabe wird erläutert und ist programmtechnisch realisiert worden.

Junghans, H.

Anwendung klassischer Methoden der Feldtheorie für die erste Bewertung feldverzerrender Einflußfaktoren des elektrischen Feldes von Starkstrom-Freileitungen

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 171–174, 4 Bilder, 11 Gleichungen, 10 Lit.

Für die Lösung praktischer Aufgabenstellungen ist es oftmals erforderlich, in kürzester Zeit feldtheoretische Analysen vorzunehmen. In dem Beitrag wird anhand zweier klassischer Methoden, Methode der Spiegelbilder und Methode der Konformen Abbildungen, gezeigt, wie mit überschaubaren mathematischen Ansätze eine erste theoretische Beschreibung der gestellten Problematik erfolgen kann. Die vorgestellten Ansätze sind programmtechnisch umgesetzt worden. Ergebnisse durchgeführter Berechnungen zur Untersuchung des feldverzerrenden Einflusses von leitfähigen Begrenzungsflächen auf das quasistationäre elektrische Feld von Starkstrom-Freileitungen sind in dem Beitrag beispielhaft aufgeführt.

Bochanky, L.

Entscheidungsproblematik in der Netztechnik

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 174–177, 2 Bilder, 1 Tafel, 1 Gln., 14 Lit.

Die Entscheidungssituation in der Netztechnik ist durch begrenzte Investitionskapazität, Existenz mehrerer Teilziele und Ungewißheiten geprägt. Hierzu wird eine Entscheidungsmethodik für die Breitenanwendung vorgestellt. Auf die Probleme der Kompromißfindung zwischen konkurrierenden Teilzielen und der Durchsetzung kompromißorientierter Entscheidungsvorschläge wird mit Beispielen ausführlicher eingegangen.

Herrmann, H.-J.; Stanimirov, M.

Digitale Schutztechnik im Elektroenergiesystem – Programmsystem zur Schutzalgorithmentestung

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 177–182, 9 Bilder, 4 Gln., 12 Lit.

Als Grundlage der Algorithmenauswahl für digitale Schutzeinrichtungen wird die Notwendigkeit von Simulationsrechnungen begründet. Der Beitrag setzt sich mit den wesentlichen Komponenten eines solchen Simulationsprogrammes auseinander und demonstriert die Funktionsweise an ausgewählten Beispielen.

Ebel, D.

Moderne Verfahren der Instandsetzung und Eichung von Elektroenergiezählern

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 182–185, 2 Bilder, 1 Tafel, 8 Lit.

Die bei der Instandsetzung und Prüfung von Elektrizitätszählern gesammelten Erfahrungen im Zählerreparaturwerk Oranienburg bildeten die Grundlage für die Entwicklung und serienmäßige Herstellung von Prüf- und Eicheinrichtungen. Der Einsatz von Zählern höherer Meßgenauigkeit und elektronischer Energiezähler stellt immer höhere Anforderungen an Technik und Technologie der Zählerprüfung, deren Stand und Tendenzen im Beitrag erläutert werden.

Schult, H.

Numerisches Stromwandlermodell mit schneller Konvergenz

ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 185–187, 3 Bilder, 28 Gln., 1 Lit.

Die Auswahl und Bebürdung von Stromwandlern für Schutzeinrichtungen muß unter Berücksichtigung des transienten Übertragungsverhaltens der Wandler erfolgen. Es wird ein numerisches Stromwandlermodell für die Simulation vorgestellt, das die Magnetisierungskennlinie einschließlich Sättigungsbereich einbezieht und die schnelle und sichere Konvergenz der Iteration gewährleistet.

Bräsel, E.; Musolff, D.

Untersuchungen zum Zeitverhalten von Gasen im Buchholz-Relais

ELEKTRIE, Berlin 44, (1990) 5, S. 187–189, 2 Bilder, 2 Tafeln, 3 Lit.

Durch die vorgelegten Ergebnisse sind frühere Einschätzungen, daß die konstruktive Gestaltung des Buchholz-Relais nicht mehr der erreichten Leistungsfähigkeit gas-chromatographischer Analysen entspricht, bestätigt worden.
Da auch das neuentwickelte Buchholz-Relais (TÜS, Typ 0923-0,65; Elektromotoren Barleben) die Belange der gasanalytischen Störungsdiagnostik nicht berücksichtigt, muß weiter nach konstruktiven Lösungen gesucht werden.

Höhne, E.; v. Fournier, U.; Pfitzner, C.

Induktivität und Stromaufteilung von Wechselstromverbindungen hoher Stromstärke

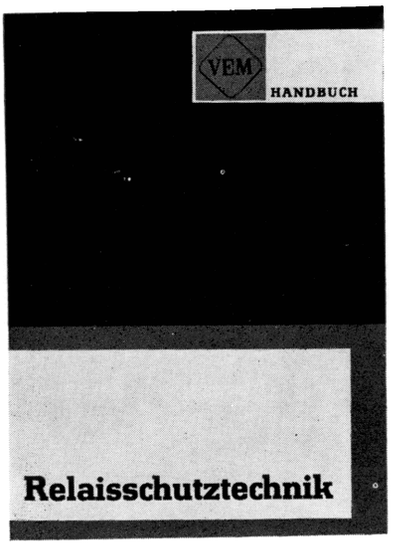
ELEKTRIE, Berlin 44 (1990) 5, S. 189 - 192, 7 Bilder, 1 Tafel, 9 Gln., 4 Lit.

In Wechselstromverbindungen hoher Stromstärke treten in den Einzelleitern unterschiedliche Ströme und auch unterschiedliche Stromdichten auf. Bei 50-Hz-Verbindungen werden diese Unterschiede vorwiegend durch den Proximity-Effekt hervorgerufen. Es wird ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Stromaufteilung der Induktivität und des Spannungsabfalls dichtgepackter Stromschienenverbindungen unter besonderer Berücksichtigung kurzer Längen vorgestellt.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 011222 8 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Dipl.-Ing. *Fritz Heinecke*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presse- und Informationsdienstes der Regierung der DDR
Gesamtherstellung	III/18-328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf Borsdorf 7122
Gestaltung	*Ursula Maria Lange*
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, DDR-Wirtschaftsanzeigen (Anzeigenpreisliste Nr. 8) sowie für Auslandsanzeigen (Mediadaten auf Anforderung) Verlag Technik, Oranienburger Straße 13/14, PSF 201, Berlin, 1020
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit të Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSFR	PNS – Ústřední expedicia a dovoz tisku Praha, Slezská 11, 120000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Cuidad Habana
Republik Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
Rumänien	D.E.P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Republik Ungarn	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH+ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010

In vierter, bearbeiteter Auflage:



VEM-Handbuch Relaisschutztechnik

Von Obering. Wolfgang Doemeland. Herausgeber: Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 368 Seiten, 284 Bilder, 78 Tafeln, Kunstleder, 27,50 M; 37,— DM.
Bestellangaben: 5538939/Doemeland, Relaisschutz

Die vierte Auflage wird wiederum als bearbeitete Fassung vorgelegt. Dabei sind vor allem Aktualisierungen aufgrund neuer Festlegungen in Vorschriften sowie des Einsatzes neu- bzw. weiterentwickelter Schutzrelais erfolgt. Besonders zu erwähnen sind die Erläuterungen zu veränderten Bewertungskriterien beim Einsatz von Stromwandlern; Aspekte, die beim Betrieb von Schutzrelais mit elektronischer Schaltungstechnik zu beachten sind sowie die Erweiterung des Schutzes von Netzen mit niederohmiger und kurzzeitig niederohmiger Sternpunkterdung.
Der Autor vermittelt seine in langjähriger praktischer Arbeit speziell bei der Inbetriebsetzung von Relaisschutzeinrichtungen gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse. Ausgehend von der Meßgrößenerfassung und den verwendeten Schutzrelais wird der derzeitige Stand der Relaisschutztechnik in der DDR aus der Sicht des praktisch tätigen Ingenieurs dargelegt, und es werden Probleme der Projektierung, Prüfung, Inbetriebsetzung und Wartung von Relaisschutzeinrichtungen in anwendungsbereiter Form behandelt. Dazu gehören auch Fragen des Arbeits- und Brandschutzes, des organisatorischen Ablaufs beim Prüfen und Messen und der Qualifikation des Inbetriebsetzungs- und Wartungspersonals. Ein Ausblick auf Entwicklungstendenzen (rechnergestützter Schutz) wird gegeben.
Für den Praktiker werden vor allem die zahlreichen aufgezeigten Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität der Arbeit und zur Steigerung der Arbeitsproduktivität bei der Inbetriebsetzung und Wartung von Interesse sein. Bei der Abfassung des Buches hat der Autor auch viele Erfahrungen und Anregungen verarbeitet, die er bei den von ihm geleiteten Schulungen für Inbetriebsetzungsingenieure und Wartungspersonal gesammelt hat.

In zweiter, stark bearbeiteter Auflage:

VEM-Handbuch Hochstromtechnik

Grundlagen, Dimensionierung und Ausführung von Hochstromanlagen

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Doz. Dr. sc. techn. Gert Winkler. Herausgeber: Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 516 Seiten, 335 Bilder, 144 Tafeln, Kunstleder, 43,— M; 60,— DM.
Bestellangeben: 5537207/VEM-Hochstromtechnik

In der vorliegenden Auflage sind die in den letzten 10 Jahren auf dem Gebiet der Hochstromtechnik gewonnenen neuen wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse berücksichtigt: Probleme, die aus der Anwendung der Leistungselektronik und der Automatisierung der Produktionsprozesse auf mikroelektronischer Grundlagen resultieren, und solche aus der Einführung neuer Verfahren.
Hauptabschnitte des Buches: Allgemeine Gesichtspunkte für die Berechnung und Auswahl von Hochstromleitungen · Technische Kenndaten elektrotechnischer Betriebsmittel für Hochstromanlagen · Wechselstrom-Hochstromanlagen · Gleichstrom-Hochstromanlagen · Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Durchströmungen · Prüfung und Inbetriebsetzung von Hochstromanlagen · Instandhaltung von Hochstromanlagen · Netzrückwirkungen durch Hochstromanlagen · Vorschriftenverzeichnis.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VERLAG TECHNIK BERLIN

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 44 (1990) 5 · S. 161—200

6730 5 177 027 465
KOMB KERAMI WERKE
8612 7001 0136 PF 1

AUSLIEFERUNG DURCH DEN FACHBUCHHANDEL

Schaltpläne und Schaltzeichen in der Elektrotechnik/Elektronik

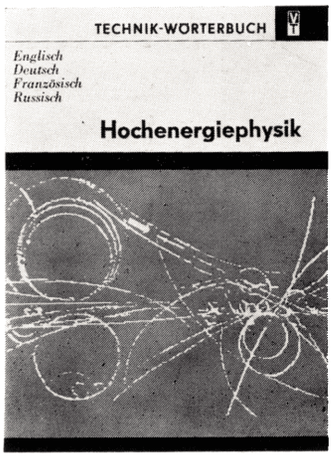
Von Prof. Dr.-Ing. Conrad Markert. 2., bearbeitete Auflage. 276 Seiten, 122 Bilder, 107 Tafeln, Pappband, 20,— M; 20,— DM. Bestellangaben: 554051 0/Markert, Schaltpläne

Im Rahmen der Arbeiten zum ESKD sind in den vergangenen Jahren auch zu den Schaltplänen und Schaltzeichen der Elektrotechnik und Elektronik viele neue Festlegungen und Präzisierungen erfolgt. Darauf aufbauend ist der neueste Stand zusammenfassend dargestellt. Das Buch ist in erster Linie als Lehrbuch gedacht. Die Möglichkeiten der Nutzung als Nachschlagewerk wurden weitgehend berücksichtigt.

VEM-Handbuch Prozeßsteuerungstechnik

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dr.-Ing. Kurt Grubba. Herausgegeben vom Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 2., durchgesehene Auflage. 312 Seiten, 164 Bilder, 72 Tafeln, Kunstleder, 32,— M; 42,— DM. Bestellangaben: 5538867/VEM-Handb. Prozeßsteuerung

Es werden verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare binäre Steuerungen zur Automatisierung technologischer Prozesse behandelt. Nach einer knappen Darstellung von Grundlagen der Steuerungstechnik wird die gerätetechnische Basis erläutert (Beispiele aus den Systemen RELOG, TRANSLOG 2, ursalog 4000, 5010, 5020). Ausführungen zur Systemtechnik, zum Aufbau, zur Inbetriebsetzung von Prozeßsteuerungen bilden den Hauptteil; im Vordergrund steht das Automatisierungssystem „VEM-audatec".



TECHNIK-WÖRTERBUCH

Hochenergiephysik

Englisch-Deutsch-Französisch-Russisch

Zusammengestellt von Dipl.-Math. Ralf Sube. 1. Auflage. 164 Seiten, Kunstleder, 22,— M; 36,— DM. Bestellangaben: 5537645/Sube, Hochenergiephysik

Fachwörterbuch mit etwa 4500 Wortstellen aus der Hochenergiephysik (Elementarteilchen, Feldtheorien, Nachweis und Messung der Elementarteilchen, Teilchenbeschleuniger).

Lichtwellenleiter in Energie- und Automatisierungsanlagen

Von Prof. Dr.-Ing. Dieter Engelage. 1. Auflage. 236 Seiten, 145 Bilder, 11 Tafeln, Kunstleder, 24,— M; 36,— DM. Bestellangaben: 5536175/Engelage, Lichtleiter

Das Buch beschäftigt sich ausführlich mit Grundlagen und Anwendungen der Lichtwellenleiter, wobei Beispiele aus der Energie- und Automatisierungstechnik überwiegen. Besonderer Wert wurde auf Prinziplösungen gelegt, die durch die rasante Entwicklung auf diesem Gebiet nicht so schnell überholt werden. Die einzelnen Abschnitte sind so gestaltet, daß man sie auch ohne Lektüre der vorhergehenden Abschnitte gut verstehen kann.

Digitale Meßverfahren

Von Prof. Dr.-Ing. Gerald Sahner. Reihe Meßtechnik. 4., durchgesehene Auflage. 152 Seiten, 98 Bilder, 9 Tafeln, Leinen, 21,50 M; 28,— DM. Erscheint in diesen Tagen. Bestellangaben: 5542321/Sahner, Meßverfahren

Eine zusammenfassende Behandlung der Grundlagen der digitalen Meßverfahren. Im Vordergrund stehen dabei die Prinzipe dieser Meßverfahren und die für den Anwender wichtigen Aspekte und Eigenschaften.

VT

VERLAG TECHNIK BERLIN

AUSLIEFERUNG DURCH DEN FACHBUCHHANDEL